

ПОПУЛЯРНЫЕ ЛЕКЦИИ
ПО АСТРОНОМИИ



Ф. Ю. Зигель

КОМЕТЫ



Государственное издательство
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
1955

ПОПУЛЯРНЫЕ ЛЕКЦИИ ПО АСТРОНОМИИ
ВЫПУСК 2

Ф. Ю. ЗИГЕЛЬ

КОМЕТЫ

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1955

14-3-1

ВВЕДЕНИЕ

Кометы принадлежат к числу наиболее удивительных и в то же время малоизученных небесных тел. Неожиданное появление комет, их сложная форма, быстрые изменения и последующее исчезновение — все эти явления с древних времен возбуждали всеобщий интерес и требовали объяснений.

Размеры комет колоссальны. Их хвосты тянутся на сотни миллионов километров, а поперечник головной части комет нередко превышает диаметр Солнца. Но, несмотря на исполинские размеры, заставляющие считать кометы наиболее крупными телами солнечной системы, массы комет ничтожно малы. Основная доля вещества кометы сосредоточена в ее твердой части, называемой ядром. По новейшим данным, ядра комет — это ледяные глыбы из замерзших газов поперечником не более нескольких километров, включающие в себя в качестве примесей многочисленные тугоплавкие твердые частицы. Ядра комет обращаются вокруг Солнца по сильно вытянутым эллиптическим орбитам. Когда комета приближается к Солнцу, ее ядро нагревается, и замерзшие газы, испаряясь, образуют голову и хвост кометы. Твердые частицы, находящиеся в ядре, служат материалом для формирования пылевых хвостов комет и метеорных потоков.

В кометах происходят сложные явления, вызываемые главным образом воздействием солнечного тепла и света.

В настоящей брошюре кратко изложены современные представления о природе комет и их роли в солнечной системе.

1. ЯВЛЕНИЯ, НАБЛЮДАЕМЫЕ В КОМЕТАХ

Современные средства наблюдений позволяют обнаружить комету тогда, когда ее расстояние от Солнца еще достаточно велико (2—3 а. е. *)). При такой удаленности от Солнца комета видна в телескоп как небольшое круглое туманное пятнышко с более ярким звездообразным уплотнением в центре — я д р о м. Туманность, окружающая ядро, называется к о м о й.

При приближении кометы к Солнцу из ее ядра в направлении к Солнцу начинают выделяться светящиеся веерообразные струи, называемые и з л и я н и я м и. Появление излияний сопровождается увеличением общей яркости кометы. Увеличиваясь в размерах и расширяясь на конце, обращенном к Солнцу, излияния напоминают светящийся фонтан, бьющий из ядра кометы. Это сходство особенно усиливается тогда, когда по мере сближения кометы с Солнцем излияние выделяет на своем конце струи, загибающиеся в сторону, противоположную Солнцу.

В дальнейшем внешняя, обращенная к Солнцу граница излияний становится более или менее резко очерченной, образуя так называемую о б о л о ч к у. Оболочка по своим очертаниям близка к параболоиду, причем ядро кометы находится в его фокусе. Иногда у кометы наблюдаются не одна, а несколько оболочек, охватывающих друг друга и имеющих общий фокус в кометном ядре.

Кома, ядро, излияния и оболочки образуют г о л о в у кометы. По мере приближения кометы к Солнцу струи излияний огибают со всех сторон ее ядро и уходят в сторону, противоположную Солнцу, образуя один или несколько кометных хвостов.

Некоторые из кометных хвостов почти прямолинейны, другие имеют заметную кривизну. В изогнутых хвостах иногда наблюдаются поперечные светлые полосы, в общем направленные к ядру кометы, или клочковатые, неправильной формы облачка, продвигающиеся внутри хвоста в сторону, противоположную Солнцу.

Очень редко у комет образуются а н о м а л ь н ы е хвосты. Они представляют собой конусообразные вы-

*) а. е. — астрономическая единица, равная среднему расстоянию от Земли до Солнца (149 500 000 км).

ступы, направленные из головы кометы в сторону Солнца. Наконец, у некоторых комет можно наблюдать светящиеся кольца, имеющие общим центром кометное ядро.

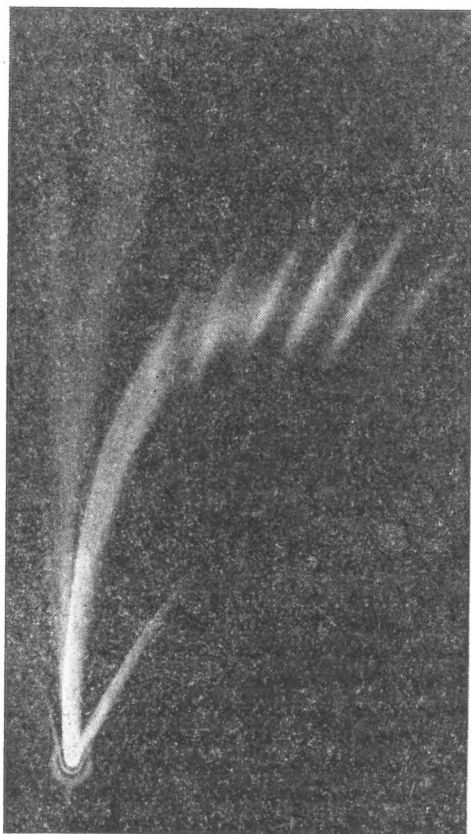


Рис. 1. Комета 1910 I, в которой наблюдались все основные кометные формы.

Они называются г а л о с а м и. Обнаружено, что галосы непрерывно расширяются, сохраняя концентричность с ядром и свою кольцевую форму.

Кометы сложнее, чем они нам кажутся при непосредственных наблюдениях. В кометах присутствуют

молекулы, испускающие не только видимые, но и не видимые глазом лучи. В этих лучах комета имеет иные формы и размеры, чем те, которые видны глазом.

Трудно указать точную, резкую границу как головы кометы, так и ее хвостов. Границы кометы, строго говоря, расплывчаты, «размазаны», и ее видимые контуры определяются распределением частиц, способных своим излучением оказать ощутимое воздействие на человеческий глаз. Поэтому размеры комет (головы и хвоста), определяемые из наблюдений, носят условно-приближенный характер.

Перечисленные кометные явления вовсе не обязательно должны наблюдаться у каждой из комет. Наоборот, большинство слабых комет, видимых только в телескоп, лишено хвостов или полностью развитой головы. На протяжении всего периода их видимости ничего, кроме комы и ядра, заметить не удастся. Только в больших и ярких кометах, подходящих близко и к Солнцу, и к Земле, разыгрываются сложные явления, показывающие многообразие кометных форм. И лишь в исключительных случаях (как, например, у январской кометы 1910 г.) все основные кометные явления бывают представлены одной кометой.

2. ИЗ ИСТОРИИ ИЗУЧЕНИЯ КОМЕТ

В древности, когда однообразие обычных астрономических явлений и кажущееся постоянство звездного неба породили идеи о неизменяемости и совершенстве небес, противопоставляемых «несовершенному» и «тленному» земному миру, кометы наряду со вспыхивающими «новыми» звездами, «падающими звездами» и метеоритами явно свидетельствовали о порочности этих идей и о наличии изменений во всем мироздании.

Обладая весьма скромными инструментами, позволявшими в лучшем случае производить лишь грубые угловые измерения, астрономы древности были лишены возможности исследовать природу комет. Скудность научных знаний о кометах сочеталась в то время с разнообразными суевериями.

Кометам приписывались всевозможные влияния на жизнь целых народов и государств и даже на судьбу отдельных лиц.

Так, например, в 451 г. н. э. победа римских войск над полчищами гуннов была приписана комете, блиставшей на небе в том году. Другая комета, появившаяся в 590 г., вызвала, по мнению многих, чуму, долго свирепствовавшую в Европе.

Воображение, подогретое суеверным страхом, заставляло иногда видеть в кометах то, чего вовсе не было



Рис. 2. Комета 1528 г. по рисунку Амбруаза Парэ.

в действительности. На старинных рисунках кометы нередко изображались в виде мечей, сабель, метел, а в комете 1528 г. известный хирург того времени Амбруаз Парэ ухитрился усмотреть отрубленные головы и окровавленные кинжалы!

Особенно много переживаний доставляли появления комет коронованным особам. Не обладая скромностью, многие из них были убеждены, что кометы посылаются богом как знамение какого-то грядущего события в их

личной жизни. Так как обычно кометам приписывалось дурное влияние и их считали вестниками всевозможных несчастий, у коронованных особ появление комет оптимизма отнюдь не вызывало. Наоборот, суеверный страх и нежелание подчиниться «вестнице неумолимого рока» приводили к проклятиям, обрушивавшимся на комету, а португальский король Альфонс VI даже стрелял в комету 1664 г. из пистолета.

Суеверные представления о кометах встречаются на протяжении всей истории человечества, и еще совсем недавно, в 1910 г., прохождение Земли через хвост кометы Галлея вызвало панику во многих странах.

Причины всех этих суеверий вполне понятны. С небом всегда связывались религиозные представления о богах, ангелах, демонах и других жителях «потустороннего мира», якобы управляющих судьбами людей. Поэтому нарушение обычного течения небесных явлений, появление такого необыкновенного светила, как комета, по мнению религиозного и суеверного человека, должно непременно как-то отразиться и на земных явлениях. Для решения же вопроса о конкретных формах этого влияния человеческой фантазии представлялись широкие возможности, так как научные знания о кометах были весьма скудны. Тем не менее можно считать, что изучение комет началось еще в глубокой древности. Основой всякого научного исследования являются факты, и в накоплении достоверных фактов о кометах большая заслуга принадлежит древним наблюдателям и ученым.

Кометная астрономия зародилась в форме регистрации появлений комет и описаний происходящих в них явлений. Сведения о дате появлений и исчезновений комет, их форме, размерах, яркости, расположении хвостов, движении среди звезд, встречающиеся в древних летописях, имеют несомненное научное значение. Старинные рисунки комет, несмотря на малое сходство с оригиналом и вымысел, нередко отражают и реальные явления, происходившие в кометах.

Некоторые из дошедших до нас летописных записей о кометах относятся к временам глубокой древности. Так, например, в китайской летописи 2296 г. до н. э. говорится, что во время правления китайского императора Яо и незадолго до рождения будущего императора Та-Ю, основателя династии Хиа, его мать видела странствующую

щее хвостатое светило. С тех пор в китайских летописях содержатся регулярные записи о появлении всех ярких комет.

Подробные и нередко ценные в научном отношении записи о кометах встречаются в русских летописях. Эти литературные памятники далекого прошлого живо свидетельствуют о глубоком интересе русских людей к необыкновенным небесным явлениям и, в частности, к кометам.

Древнейшая из русских записей о кометах найдена в Лаврентьевской летописи 912 г., где отмечается, что «явися звезда велика на западе копейным образом» (т. е. в виде копья).

В позднейших русских летописях описания появлявшихся комет, нередко весьма образные и правдивые, встречаются многократно.

Все свидетельства подобного рода дают возможность установить частоту появления ярких комет в различные века, характерные особенности их внешнего вида, а в отдельных случаях и историю какой-нибудь из периодически появляющихся комет.

Очень важными в научном отношении были два факта, открытые древними: это — направленность кометных хвостов в сторону, противоположную Солнцу (она отмечена уже римским философом Сенекой в I в. н. э., затем китайскими астрономами в 837 г. н. э. и, наконец, значительно позже Апианом в 1531 г.), и изогнутость некоторых из них (описания комет 479 г. до н. э., 192 г. н. э. и др.).

Еще в древности предпринимались попытки научного объяснения природы комет. Так, например, Аристотель считал кометы земными испарениями, которые, приближаясь к Солнцу, воспламеняются под действием его тепла. По мнению Сенеки, изложенному в 7-й книге его «Естественных вопросов», «...комета имеет свое собственное место между небесными телами, поэтому она никогда не перестает существовать, она описывает свой путь и не гаснет, а только удаляется». Некоторые из древних (Метродор, Страбон) считали кометы чисто оптическим явлением в земной атмосфере — мнение, несмотря на свою абсурдность и противоречие фактам, имевшее последователей вплоть до конца XIX в. (Гольдштейн).

Невозможность опытной проверки делала все эти высказывания в какой-то мере убедительными, и взгляды о внеземной природе комет получили обоснование лишь в конце XVI в.

В 1577 г. появилась яркая комета, и известный датский астроном Тихо Браге вместе с одним из своих учеников предпринял попытку определить расстояние до кометы. Однако наблюдения, произведенные из двух пунктов (Копенгаген и Прага), не обнаружили параллактического смещения кометы. Этот результат при тогдашней точности наблюдений доказывал, что комета находится от Земли дальше, чем Луна, и что, следовательно, кометы представляют собой не какие-то образования в земной атмосфере, как думал Аристотель, а небесные тела.

Раз кометы оказались находящимися за пределами Земли и наблюдения указывали на их движение, то встал вопрос об изучении путей, по которым кометы движутся в межпланетном пространстве.

До Кеплера считалось, что все небесные тела могут двигаться лишь по окружностям. В этом сказывалось вредное влияние Аристотеля, считавшего равномерное движение по окружности единственным движением, «достойным» небесных тел. Между тем наблюдения показывали, что действительное движение планет не подчиняется этой упрощенной схеме. Законы Кеплера, открытые им в результате огромного вычислительного труда, устанавливали более широкий класс орбит небесных тел, так как согласно этим законам наряду с круговыми орбитами различного радиуса небесные тела могут двигаться по эллипсам самых различных форм и размеров. Новые теоретические возможности, с одной стороны, и наблюдения, говорящие об удалении комет от Солнца и их приближении после появления, с другой стороны, казалось, делали естественным вывод о том, что кометы обращаются вокруг Солнца по сильно вытянутым эллипсам. Однако сам «законодатель неба» Кеплер считал кометы небесными телами, сильно отличающимися от планет, а потому движущимися не вокруг Солнца, а мимо Солнца по прямолинейным путям. Сравнительная частота появления комет, лишь однократно пролетающих, по его мнению, мимо Земли и Солнца, навела Кеплера на правильную мысль о том, что «небо так же полно кометами, как океан рыбами».

Подобных взглядов на природу комет придерживался и Галилей.

Открытие закона всемирного тяготения позволило ближе подойти к решению проблемы. Как показал Исаак Ньютон, все три закона Кеплера являются следствием закона всемирного тяготения, а убеждение в применимости этого закона ко всем телам, как земным, так и небесным, приводило к выводу, что и кометы в своем движении тоже должны следовать закону всемирного тяготения.

Ньютон доказал, что в зависимости от начальных условий (относительной скорости и взаимного расположения) два небесных тела, взаимно притягивающих друг друга с силой, прямо пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними, должны двигаться (в относительном движении) по одному из конических сечений — эллипсу, параболе или гиперболе. Это было новым расширением класса возможных орбит небесных тел, и оставалось решить вопрос, по какой же из трех кривых в действительности движутся кометы.

Вычисления, сделанные Ньютоном по наблюдениям яркой кометы 1680 г., показали, что в пределах точности наблюдений комета огибала Солнце, двигаясь по параболе.

В начале XVIII в. друг и ученик Ньютона Эдмунд Галлей, вычислив параболические орбиты 24 комет, для которых имелись надежные наблюдения за период с 1337 по 1698 г., обнаружил, что у трех из комет, появлявшихся в 1531, 1607 и 1682 гг., орбиты почти совпадали. Галлей сделал совершенно правильный вывод о том, что это не три различные кометы, а одна комета, обращающаяся вокруг Солнца по сильно вытянутой эллиптической орбите. Он нашел ее период обращения равным 76 годам и предсказал, что очередное появление этой кометы должно состояться в конце 1758 г.

Блестяще подтвердившееся предсказание Галлея доказало правильность его выводов, а в XIX в. кроме кометы Галлея стал известен еще ряд комет, которые периодически возвращаются к Солнцу. Однако до самого последнего времени существовало убеждение, что наряду с кометами, обращающимися вокруг Солнца по эллиптическим орбитам, есть непериодические «параболические»

кометы, лишь однажды пролетающие мимо Солнца. В настоящее время установлено, что орбиты всех комет — эллипсы, и, следовательно, все кометы являются членами нашей солнечной системы.

Начало систематическому изучению природы комет было положено Ньютоном. По видимым размерам хвоста

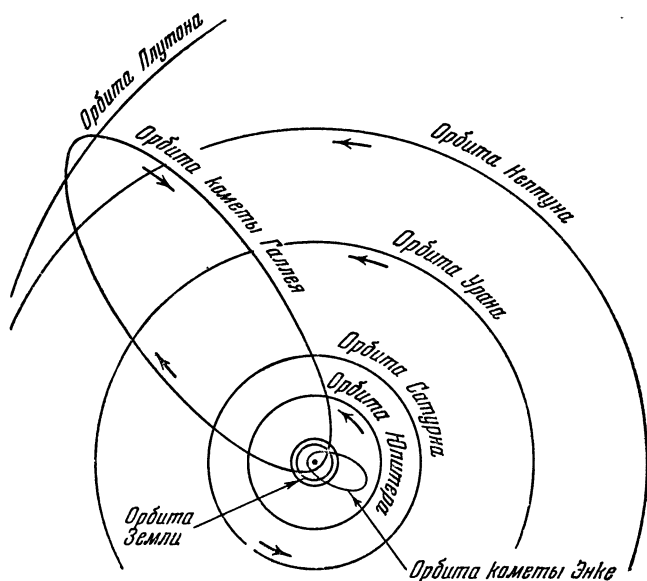


Рис. 3. Орбита кометы Галлея.

кометы 1680 г. в момент ее наблюдения Ньютон нашел, что длина хвоста равна 240 000 000 км, а поперечник головы той же кометы близок к 1 200 000 км. Кометы оказались исполинскими небесными телами, однако отсутствие заметных влияний комет на движение планет заставляло предполагать, что масса комет ничтожно мала.

Подсчитав, что комета 1680 г. пролетела мимо Солнца всего лишь на расстоянии около миллиона километров от его центра и при этом не распалась на части и не рассеялась в пространстве под испепеляющим действием солнечных лучей, Ньютон пришел к выводу, что в кометах

кроме газов должны быть и твердые вещества, образующие небольшое кометное ядро.

По мнению Ньютона, хвост кометы образуется парами, выделяющимися из кометного ядра. Отражая падающие на него солнечные лучи, хвост кометы становится видимым.

Пытаясь объяснить направленность кометных хвостов в сторону, противоположную Солнцу, Ньютон приходит к следующей гипотезе.

«Я склонен думать, — писал он, — что движение этих частиц хвоста скорее может происходить от разрежения материи под действием тепла. Воздух в трубе камина, разреженный теплом, становится легче соседнего, не нагретого, и поднимается, унося с собой частицы дыма. Почему не могут частицы хвоста кометы подниматься таким же образом? Пары комет могут нагревать очень редкую эфирную среду, разрежая ее еще больше, и поднимаются вместе с ней, образуя хвост».

Такое объяснение оказалось несостоятельным. Гораздо ближе к современным представлениям о природе кометных хвостов подошел наш великий соотечественник М. В. Ломоносов.

«Комет бледного сияния и хвостов причина, — писал он, — недовольно еще изведена, которую я без сомнения в электрической силе полагаю... Сие явление с северным сиянием сродно».

В первой половине XIX в. немецкие астрономы Брандес и Бессель разработали «фонтанную» теорию кометных явлений. По этой теории движение частиц, выброшенных кометным ядром, уподоблялось движению водяных капель в фонтане. Фонтанная теория впервые позволила исследовать кометные явления с количественной стороны и объяснить (разумеется, в самых общих чертах) форму и направленность кометных хвостов.

Основы современной кометной астрономии были заложены великим русским исследователем комет Федором Александровичем Бредихиным (1831—1904). Он создал стройную механическую теорию кометных форм, объясняющую все основные кометные явления. Связь между кометами и метеорами, установленная итальянским астрономом Скиапарелли в 60-х годах прошлого века, нашла в трудах Бредихина всестороннее объяснение. Распад комет, приводящий к образованию метеорных потоков,

деление кометных ядер и возникновение при этом новых комет — вот те главные этапы эволюции комет, которые были изучены и объяснены Бредихиным.

Со времен Бредихина ведущая роль в изучении комет принадлежит ученым нашей страны. Продолжатель работ Бредихина лауреат Сталинской премии член-корр. АН СССР С. В. Орлов значительно развил и усовершенствовал механическую теорию кометных форм. Он подробно изучил строение многих комет, в особенности их голов, разработал новую, физически обоснованную классификацию кометных форм, а также выяснил некоторые вопросы эволюции комет и их связь с другими телами солнечной системы.

Проф. С. В. Орлов является основателем и руководителем советской школы исследователей комет, среди которых широко известны своими работами Б. А. Воронцов-Вельяминов, С. К. Всехсвятский, А. Д. Дубяго, Б. Ю. Левин, С. М. Полосков и др.

Своими успехами современная кометная астрономия во многом обязана советским ученым.

3. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМЕТ

Методы изучения комет, применяемые в современной астрономии, весьма многообразны. С момента первого появления в виде маленького туманного пятнышка на черном фоне звездного неба и до момента исчезновения комета подвергается разностороннему исследованию.

Для открытия и наблюдения таких слабосветящихся туманных объектов, как кометы, наиболее подходящим инструментом является светосильный рефрактор, называемый кометоискателем. Впрочем, бывают случаи, когда яркие кометы открывают с помощью обычных и притом небольших инструментов, а иногда даже и невооруженным глазом. Так, например, советским любителем астрономии С. М. Козиком в 3-дюймовый рефрактор плохого качества были открыты две новые кометы (в 1936 и 1939 гг.), а два других любителя астрономии из Мордовии — Ахмаров и Юрлов — обнаружили одну из новых комет 1939 г. невооруженным глазом.

В настоящее время большинство комет открывают с помощью фотографии. Фотопластинка обладает рядом



ФЕДОР АЛЕКСАНДРОВИЧ БРЕДИХИН
(1831 — 1904)

ценных свойств. Она способна постепенно накапливать световые воздействия со стороны светящегося объекта, а потому с увеличением экспозиции (до некоторого предела) на фотопластинке получают изображения все более слабых звезд. Запечатлевая быстро протекающие небесные явления, как, например, полет метеорного тела, фотопластинка способна также фиксировать тончайшие детали объекта, передать которые художник не в состоянии. Наконец, фотографический снимок свободен от субъективных ошибок, свойственных наблюдателю, поэтому он документально строго свидетельствует об изучаемом явлении. Вот почему в современной астрономии фотография нашла всестороннее применение, в частности и при изучении комет.

Для фотографирования небесных тел применяются специальные крупные фотокамеры, называемые астрографами. Астрограф скрепляют с рефрактором так, чтобы оптические оси обоих инструментов были параллельны. Рефрактор и астрограф укрепляются на параллактическом штативе, дающем им возможность вращаться вокруг двух взаимно перпендикулярных осей, одна из которых направлена на северный полюс мира. Эта ось, называемая часовой или полярной осью инструмента, совпадает с воображаемой «осью мира», вокруг которой в данном месте Земли совершается кажущееся суточное движение небесных светил. На второй оси, называемой осью склонений, укрепляются с одной стороны рефрактор и астрограф, а с другой стороны уравнивающий их тяжелый груз. Совместное движение вокруг обеих осей позволяет направить инструмент на любую точку неба.

Наведя телескоп на объект, наблюдатель с помощью специальных винтов закрепляет его в данном положении и одновременно включает часовой механизм, медленно вращающий телескоп и астрограф вслед за светилом вокруг полярной оси. Если часовой механизм работает исправно, то объект будет виден все время в одной и той же точке поля зрения телескопа и, следовательно, будет проектироваться на одну и ту же точку фотопластинки астрографа. Практически наблюдатель обычно контролирует часовой механизм и, наблюдая в телескоп за какой-нибудь звездой, с помощью специальных ключей подправляет телескоп так, чтобы звезда не сходила со своего первоначального положения на пластинке.



Рис. 4. Астрограф.

Фотографирование комет производится несколько иначе. Так как комета обладает собственным движением среди звезд, то для получения резкого изображения кометы телескоп с помощью ключей ведут не за звездой, а за кометой, остающейся при этом в одной и той же точке поля зрения. Понятно, что при таком приеме фотографирования звезды изобразятся не точками, а черточками, что хорошо видно на рис. 5.

Астрографы — это основные инструменты для изучения комет. Запечатлевая множество слабо светящихся звезд, фотопластинка, как правило, ранее глаза обнаруживает вновь появившуюся комету. Когда комета подойдет ближе и раскинется пышный хвост, а ее внешний вид станет богат многочисленными и подчас тонкими структурными деталями, ни один художник не сможет отобразить эту сложную картину так четко и документально строго, как это сделает фотопластинка. Поэтому на всех стадиях видимости кометы фотографическим наблюдениям отдается предпочтение по сравнению с визуальными (т. е. наблюдениями, произведенными глазом).

Надо при этом заметить, что вид одной и той же кометы для одного и того же момента времени на фотопластинке и на рисунке может быть весьма различным. Объясняется это тем, что человеческий глаз наиболее чувствителен к желто-зеленым лучам, а обычная фотопластинка — к сине-фиолетовым. Глаз и пластинка видят комету в разных лучах, испускаемых иногда различными частями кометы, а потому и неудивительно, что фотография и рисунок могут не совпадать друг с другом.

Наиболее ценно сочетание визуальных и фотографических наблюдений кометы, при котором изучение ее структуры значительно облегчается. Дело в том, что иногда в кометах происходят быстрые изменения отдельных ее деталей, фиксировать которые фотопластинка не в состоянии как из-за быстроты этих изменений, так и из-за наложения на пластинке одних изображений на другие. В этих случаях глаз имеет явное преимущество перед фотопластинкой, а потому визуальные наблюдения комет и в наши дни не теряют своего научного значения.

Когда открывают комету с ясно выраженным хвостом, то сомнений в кометной природе такого объекта, естественно, не возникает. Однако подавляющее большинство комет обнаруживают в то время, когда они еще не успели

близко подойти к Солнцу и обзавестись хвостом. В этом случае комета представляет собой крохотное туманное пятнышко с небольшим звездообразным уплотнением в центре — ядром. Внешне такая далекая комета похожа



Рис. 5. Фотография далекой кометы.

на туманность или на шаровое звездное скопление. Решающим доводом в пользу того, что обнаруженное туманное пятнышко действительно представляет собой комету, является его перемещение на фоне звездного неба. Обнаружив новую комету, астрономы измеряют её положение среди звезд для нескольких моментов времени, что дает возможность определить орбиту кометы и рассчитать ее будущий путь по небу.

Определение положения кометы на небе производится с помощью специальных микрометров, прикрепленных

к окулярной части телескопа. Это позволяет измерить угловые расстояния ядра кометы от известных звезд и тем самым найти его координаты. Нередко подобные измерения производят на фотографии участка звездного неба, зафиксировавшей появившуюся комету. Об открытии новой кометы сообщают в Копенгаген, где находится Международное бюро астрономических телеграмм, а из Копенгагена во все обсерватории мира рассылаются телеграммы о положении кометы и ее движении среди звезд.

Дальнейшие исследования кометы, помимо систематического фотографирования и визуальных наблюдений с помощью телескопов, заключаются в определении яркости кометы и получении ее спектра.

Термин «яркость кометы», характеризующий интенсивность света, попадающего в глаз наблюдателя, имеет двоякий смысл. Во-первых, под яркостью кометы понимается ее общий суммарный или, как часто говорят, «интегральный» блеск, т. е. освещенность, создаваемая кометой на земной поверхности. Она может быть выражена как в люксах, так и в звездных величинах (подробнее об этом см. стр. 27).

Во-вторых, комета как протяженный объект обладает в различных своих частях различной поверхностной яркостью, которая определяется как освещенность, создаваемая единицей площади (квадратной минутой или квадратной секундой) светящегося тела.

Если комета видна невооруженным глазом и имеет небольшие видимые размеры, ее интегральный блеск сравнивается визуально с блеском окружающих звезд, звездные величины которых известны.

При наблюдении небольшой кометы в телескоп его фокусировку слегка расстраивают. Звезды превращаются из светящихся точек в размытые диски, более сходные с кометой, чем при точной фокусировке, и благодаря этому точность оценки блеска кометы повышается.

Измерение интегрального блеска кометы можно производить также и на фотоснимках.

Поверхностную яркость отдельных деталей большой кометы чаще всего определяют по ее крупномасштабным фотографиям. В этом случае с помощью специальных фотометров измеряют густоту почернений отдельных частей негатива (которые пропорциональны яркостям соот-

ветствующих частей кометы), а затем почернения переводят в звездные величины.

Существуют фотометры и для визуальных определений блеска кометы, а в последнее время для измерения яркости комет начали применять высокоточные фотоэлектрические фотометры.

Исследование спектров комет может быть осуществлено тремя способами. Первый из них — это визуальные наблюдения спектра кометы с помощью обычного спектроскопа, привинченного к окулярной части телескопа. Этот метод, широко распространенный в прошлом веке, теперь почти вышел из употребления. Гораздо удобнее получить фотографию спектра кометы, которую затем можно изучать в спокойной лабораторной обстановке. Поэтому вторым способом изучения спектра комет, который широко применяется в современной астрономии, является фотографирование комет с помощью щелевого спектрографа. Щель спектрографа помещают в фокусе объектива телескопа так, чтобы изображение головы кометы во время экспозиции держалось на щели. Сам же телескоп в течение двух-трех часов экспозиции наблюдатель ведет за кометой. Подобным способом можно получить спектрограммы ядра и головы кометы.

Что касается слабо светящихся кометных хвостов, то их спектры, как правило, получают иначе. В этом случае фотографирование производится призмной камерой, т. е. светосильной фотокамерой, перед объективом которой поставлена призма. На негативе получается ряд изображений кометы в различных лучах спектра. Недостаток спектрограмм такого рода — наложение изображений кометы в разных лучах друг на друга, что очень осложняет исследование. Кроме того, вместо тонких и правильных спектральных линий, получаемых на спектрограммах с щелевым спектрографом, в данном случае изображения кометы в разных лучах широки и имеют неправильную форму, что сильно понижает точность отождествления этих изображений с известными спектральными линиями.

Что же дают все эти методы изучения комет?

Измерения положения ядра кометы визуальным способом и на фотоснимках позволяют вычислить орбиту кометы и изучить особенности ее движения. По визуальным и фотографическим наблюдениям отдельных деталей в кометах и измерениям их положений можно исследо-

вать структуру кометы, определить размеры ее частей и деталей, а также выяснить закономерности движений кометного вещества.

Данные о яркости комет в сопоставлении с детальным изучением их состава позволяют узнать механизм их свечения, подробности движения отдельных частей и многое другое, что создает стройную картину процессов, происходящих в кометах.

Во всех случаях теоретическое истолкование полученных результатов, опирающееся на факты и находящееся в соответствии с общим уровнем современной науки, сопровождает каждый этап исследования.

4. ОРБИТЫ КОМЕТ

Под орбитой кометы понимается та кривая, которую описывает, двигаясь в пространстве, кометное ядро. Основной силой, определяющей движение кометного ядра, является сила тяготения Солнца. В тех случаях, когда комета подходит близко к какой-нибудь из больших планет, приходится также учитывать притяжение кометного ядра к этой планете. В остальных случаях притяжением планет пренебрегают и считают, что комета находится под действием притяжения только одного Солнца.

Как доказал Ньютон, комета, притягиваемая только Солнцем, может двигаться лишь по одной из трех кривых — гиперболе, параболе или эллипсу. Решить вопрос о том, какая из этих кривых служит орбитой данной кометы, можно лишь на основе наблюдений. Для этого необходимо определить положение кометного ядра среди звезд для различных моментов времени, причем чем больший период времени охватят наблюдения, тем ближе к действительности будет вычисленная на основе этих наблюдений орбита.

Ньютон полагал, что кометы, находясь «по большей части вне области планет», описывают большие и сильно вытянутые эллипсы, которые вблизи Солнца почти не отличаются от парабол. Определение же параболической орбиты — задача более легкая, чем определение орбиты эллиптической. Остроумный способ, разработанный Ньютоном, позволял по трем наблюдениям вычислить параболическую орбиту.

Определить орбиту какого-нибудь небесного тела — это значит: 1) выяснить расположение плоскости, в которой лежит орбита данного тела по отношению к плоскости земной орбиты; 2) найти положение орбиты в ее плоскости по отношению к некоторому известному направлению; 3) определить форму и размеры орбиты и, наконец, 4) вычислить момент прохождения небесного тела через перигелий, т. е. ближайшую к Солнцу точку его орбиты.

Все эти характеристики орбиты выражаются определенными величинами, которые называются элементами орбиты. Следовательно, задача вычисления орбиты кометы заключается в нахождении элементов ее орбиты по наблюдаемым положениям кометы среди звезд.

Наоборот, знание элементов орбиты какой-нибудь кометы позволяет вычислить ее эфемериду, т. е. таблицу, в которой даны координаты кометы для различных моментов времени.

Сравнение эфемериды с фактически наблюдаемыми положениями кометы позволяет внести поправки в ранее вычисленные элементы орбиты и в конце концов на основании большого количества точных наблюдений вычислить (с учетом притяжения планет) так называемую окончательную орбиту.

Уже во времена Ньютона стало ясным, что наряду с «параболическими» кометами, как, например, кометой 1680 г., орбита которой практически не отличалась (в пределах точности наблюдений) от параболы, существуют периодические кометы, обращающиеся вокруг Солнца по эллипсам.

Первой из открытых периодических комет была знаменитая комета Галлея. Ее орбита оказалась сильно вытянутым эллипсом с перигелием, расположенным от Солнца на расстоянии, почти вдвое меньшем, чем Земля, и с афелием *), далеко выходящим за орбиту Нептуна. Свой огромный путь вокруг Солнца комета Галлея описывает за 76 лет.

Вскоре выяснилось, что существуют периодические кометы со значительно меньшими орбитами и соответственно меньшими периодами обращения. В конце XVIII в. был открыт ряд комет с периодом обращения

*) Афелий — наиболее удаленная от Солнца точка орбиты.

В настоящее время известно около 170 комет с эллиптическими орбитами и периодами обращения от 2,3 года до десятков миллионов лет. Среди эллиптических орбит, принадлежащих периодическим кометам, встречаются орбиты различной вытянутости и величины.

24

мися внутри орбиты Юпитера (комета Энке, комета 1949 d), встречаются исполинские орбиты, афелии которых находятся от Солнца на расстоянии, в десятки тысяч раз большем, чем Земля.

В отличие от орбит больших планет, плоскости которых почти совпадают, орбиты комет лежат в самых различных плоскостях, нередко сильно наклоненных друг к другу и к плоскости земной орбиты. В этом отношении кометы сходны с метеоритами и отчасти с малыми планетами (астероидами).

Все ли кометы являются периодическими, т. е. обладают эллиптическими орбитами, или существуют кометы, приходящие к нам из межзвездных пространств по параболическим и гиперболическим орбитам?

В настоящее время вычислены орбиты 467 комет. Из них параболических орбит 250, эллиптических 170 и гиперболических 47.

Необходимо, однако, отметить, что для всех вновь открываемых комет сначала всегда вычисляют параболическую орбиту, по элементам которой и составляют эфемериды, позволяющие следить за движением кометы по небу. Лишь когда накопится большое количество наблюдений, можно заметить отклонение действительной орбиты от параболической, и тогда для этой кометы вычисляют эллиптическую или гиперболическую орбиту.

Из законов механики следует, что для движения по параболической орбите комета должна обладать некоторой совершенно определенной скоростью, причем малейшее изменение скорости приведет к тому, что комета будет описывать уже либо эллиптическую, либо гиперболическую орбиту. Таким образом, кометы в действительности должны двигаться либо по эллипсам, либо по гиперболам, хотя для очень значительной группы комет отличия их действительной орбиты от параболической найти не удается.

Кроме того, все перечисленные данные относятся к тем орбитам, по которым двигались кометы в период их наблюдения, т. е. вблизи от Солнца и Земли. Между тем вдалеке от Солнца, например в районе орбит больших планет (в особенности Юпитера и Сатурна), комета может подвергнуться заметному притяжению со стороны этих планет, что при известных условиях коренным образом изменяет орбиту кометы.

Чтобы учесть влияние притяжения планет (называемое иначе возмущениями) на движение кометы, необходимо выяснить характер движения кометы до ее открытия и установить, проходила ли она вблизи какой-нибудь планеты, и если проходила, то как повлияла на ее движение эта планета. В конечном счете удастся вычислить, по какой орбите комета двигалась вне солнечной системы, когда всю эту систему можно было считать материальной точкой, притягивающей комету. Такие орбиты называются

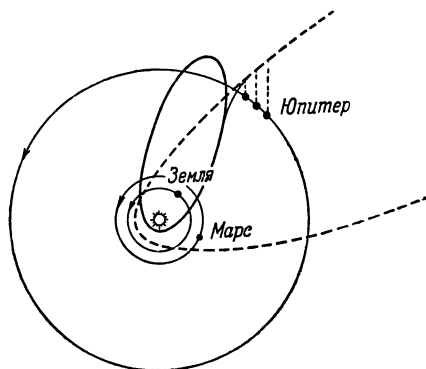


Рис. 7. Изменение первичной орбиты кометы под влиянием возмущений со стороны Юпитера.

первичными. Первичная орбита иногда может очень сильно отличаться от наблюдаемой орбиты данной кометы (рис. 7).

Вычисление первичных орбит — сложное и трудоемкое дело, так как приходится всесторонне учитывать возмущения планет, что представляет собой очень трудную задачу. Предпринимать такие вычисления имеет смысл лишь для тех комет, о которых собрано много надежных и точных наблюдений.

В настоящее время вычислены первичные орбиты 22 комет. Все они представляют собой эллипсы. Таким образом, можно утверждать, что наблюдаемые гиперболические орбиты есть результат возмущающего действия больших планет или неточности наблюдений. Параболические же орбиты, как отмечалось выше, нереальны. Следовательно, все кометы — это члены нашей солнечной

системы, обращающиеся вокруг Солнца по эллиптическим орбитам.

Несколько слов об обозначении комет. Когда открывают какую-нибудь комету, то ей дают специальное обозначение. Комета, открытая первой в данном году, обозначается номером года и буквой «а» (например, 1955 а). Следующие кометы, открытые в том же году, обозначаются номером этого же года и строчной буквой латинского алфавита — по порядку открытия комет в данном году (1955 b, 1955 c и т. д.). Рядом с этим обозначением в скобках ставится фамилия открывшего комету, например: комета 1929 b (Неуймин). Все эти обозначения являются предварительными. После того как орбиты вновь открытых комет вычислены и определены моменты их прохождения через перигелий, кометы нумеруются римскими цифрами, но не в последовательности моментов открытия, а в последовательности моментов прохождения комет через перигелий (например, кометы 1955 I, 1955 II и т. д.).

Кометы, неоднократно возвращавшиеся к Солнцу и при этом наблюдаемые, каждый раз получают новое обозначение. Так, например, комета 1786 I в последующие появления обозначалась как 1819 I, 1822 II и т. д.

В настоящее время ежегодно открывают по несколько комет, а в иные годы общее число обнаруженных комет превышает десяток.

5. БЛЕСК КОМЕТ И ЕГО ИЗМЕНЕНИЯ

Блеском небесного светила, характеризующим его наблюдаемую яркость, называется освещенность, создаваемая данным светилom на земной поверхности. Блеск может быть выражен как в обычных единицах освещенности — люкс ах (лк), так и в особых астрономических единицах блеска, называемых звездными величинами.

Еще в древности наиболее яркие звезды были названы звездами 1-й величины (1^{n}), а наиболее слабые из звезд, доступных невооруженному глазу, — звездами 6-й величины (6^{n}). В начале прошлого века было выяснено, что звезда n -й звездной величины создает освещенность, почти в 2,5 раза (по принятому в современной астрономии условию в 2,5119 раза) большую, чем звезда $(n + 1)$ -й

величины. В настоящее время для нескольких особенно ярких звезд, планет, Луны, Солнца и других ярких объектов введены нулевая и отрицательные (0^m , -1^n , -5^m) звездные величины; кроме того, в связи с возросшей точностью измерений блеска введены промежуточные звездные величины ($3^m,97$; $6^m,51$ и т. п.).

Допустим, что звезда нулевой звездной величины на плоскости, перпендикулярной к ее лучам, создает освещенность, равную « a » лк. Тогда освещенность от звезды 1-й величины будет $\frac{a}{2,5}$, или $a \cdot 2,5^{-1}$ лк, а от звезды -1 -й величины $a \cdot 2,5^{+1}$ лк. Отсюда следует, что звезда m -й звездной величины создает освещенность, равную $A = a \cdot 2,5119^{-m}$ лк.

Коэффициент a , найденный экспериментально, оказался равным $2,13 \cdot 10^{-6}$.

Следовательно, воспользовавшись полученной формулой, можно блеск любого светила с известной звездной величиной выразить в люксах.

Видимый блеск кометы часто определяют путем сравнения блеска головы кометы со звездами, блеск которых, выраженный в звездных величинах, уже известен.

Пусть, например, звезды сравнения (η Б. Медведицы и γ Волопаса) имеют блеск: $\eta = 2^{\circ},26$, $\gamma = 3^m,34$. Допустим, из наблюдений видимого блеска кометы « k » получилась оценка $\eta 2k 3\gamma$. Она означает, что наблюдатель мысленно разделил интервал яркости между η и γ на пять частей и нашел, что по яркости комета ближе к звезде η , чем к звезде γ . Чтобы найти блеск кометы, интервал яркости между звездами сравнения, равный $1,08$, делим на 5, получаем $0,22$ и отсюда находим, что блеск кометы равен: $k = 2^{\circ},26 + 2 \cdot 0,22 = 2^{\circ} 70$.

Так из наблюдений можно найти видимый блеск кометы. Разумеется, точность результатов определяется той точностью, с которой наблюдатель оценивает блеск кометы.

Несмотря на явное превосходство в точности дорогих и сложных электрофотометрических методов наблюдений, простые визуальные оценки яркости комет до сих пор широко распространены и имеют большую научную ценность.

Видимый блеск кометы зависит как от расстояния кометы до Солнца, так и от ее расстояния до Земли. По-

этому для сравнения между собой различных комет по интенсивности излучаемого ими света вычисляют абсолютную яркость или, точнее, абсолютный блеск кометы, т. е. блеск кометы на расстоянии 1 а. е. и от Солнца и от Земли.

Найти абсолютный блеск кометы можно следующим образом. Пусть абсолютный блеск кометы в звездных величинах равен H_0 . Тогда соответствующая ему освещенность $A_0 = a \cdot 2,5^{-H_0}$. Допустим, что на расстоянии ρ от Земли комета по наблюдениям имела блеск A_1 люксов. Тогда на расстоянии в 1 а. е. блеск кометы будет равен $A_1 \rho^2$.

Обозначим расстояние кометы от Солнца в момент наблюдения через r . Наблюдения показывают, что блеск кометы можно приближенно считать изменяющимся обратно пропорционально n -й степени расстояния от Солнца. Тогда блеск кометы на расстоянии 1 а. е. от Солнца и Земли будет равен $A_1 \rho^2 r^n = A_0$.

Переходя к звездным величинам, получим:

$$a \cdot 2,5^{-H_1} \rho^2 r^n = a \cdot 2,5^{-H_0}.$$

Сократив на a и прологарифмировав, приходим к уравнению

$$-0,4H_1 + 2 \lg \rho + n \lg r = -0,4H_0$$

или

$$H_0 + 2,5 n \lg r = H_1 - 5 \lg \rho.$$

В полученном уравнении абсолютный блеск кометы H_0 и показатель степени в законе изменения блеска n неизвестны. Что же касается r и ρ , то они даются в эфемеридах кометы, а видимый блеск кометы (H_1) определяется из наблюдений.

Чтобы получить максимально точные значения H_0 и n , используют возможно большее количество оценок блеска кометы и составляют систему многих уравнений с двумя неизвестными (H_0 и n). Решая такую систему по так называемому методу наименьших квадратов, получают наиболее вероятные значения неизвестных.

Систематическое изучение закона изменения блеска комет в зависимости от их расстояния до Солнца было начато проф. С. В. Орловым еще в 1910 г. Позже проф. С. К. Всехсвятский обработал все имевшиеся фотометрические наблюдения 230 комет и в 1933 г. опубликовал

каталог абсолютного блеска комет, начиная от кометы 1066 г. (Галлея) и кончая кометой 1932 m (Брукса). На основе этого каталога, представляющего собой ценный материал для исследования физической природы комет, С. К. Всехсвятский подсчитал, что показатель «*n*» в законе изменения блеска в среднем близок к 4. Это значит, что с приближением к Солнцу блеск кометы возрастает



Рис. 8. Большая комета 1843 г. (1843 I).

очень быстро. Так, например, при приближении кометы к Солнцу в 10 раз ее блеск возрастает в 10 000 раз!

По абсолютному блеску кометы весьма сильно отличаются друг от друга. Самой яркой была комета 1729 г., имевшая абсолютный блеск — 3^m , самой слабой — комета 1922 II с абсолютным блеском $14^{\text{m}},8$. Легко подсчитать, что первая из них излучала света в 10 миллионов раз больше, чем вторая.

Не следует думать, что кометы с большой абсолютной яркостью будут непременно хорошо видны с Земли. Абсолютная яркость кометы характеризует лишь ее потенциальные возможности излучения света, которые фактически (например, для комет с большими перигелийными расстояниями) могут и не быть реализованы. Видимая

яркость или блеск кометы зависит не только от ее абсолютного блеска, но и от других причин. Видимый блеск кометы будет тем больше, чем ближе комета подходит к Земле. Кроме того, чем меньше перигелийное расстояние кометы, т. е. чем ближе она может подойти к Солнцу, тем более пышный хвост (или хвосты) она раскинет и тем более эффективной она будет казаться на небе. Так, например, комета 1843 I с ее огромным прямолинейным хвостом казалась намного величественнее и грандиознее, чем комета 1811 I, хотя по абсолютной яркости первая из них в 360 раз уступала второй.

Причина столь эффектного вида кометы 1843 I заключается в том, что она очень близко (в отличие от кометы 1811 I) подходила к Солнцу, а потому и яркость ее в этот период весьма сильно возросла.

Наконец, одна и та же комета в один и тот же момент в разных местах земного шара может быть видна по-разному. Так, например, комета Галлея в 1909—1911 гг. на Кавказе была видна отлично, и своим громадным хвостом привлекала всеобщее внимание, между тем как в центральных областях России на светлом фоне майских и июньских ночей она казалась неяркой туманной звездочкой 3-й величины без всяких признаков хвоста.

Вот почему деление комет по видимому блеску на большие кометы, кометы, видимые невооруженным глазом, и телескопические кометы достаточно условно и неопределенно. В этом отношении не видимый, а абсолютный блеск кометы наряду с показателем степени « n » является важной физической характеристикой кометы, выражающей ее способность к излучению света.

6. ПРИРОДА КОМЕТНЫХ ЯДЕР

Если бы комета целиком состояла только из газов, то при исключительно малой плотности этих газов и незначительности их общей массы они быстро, как облачко дыма, рассеялись бы в пространстве, и комета прекратила бы свое существование. Между тем кометы — это сравнительно стабильные небесные тела, обращающиеся вокруг Солнца по эллиптическим орбитам и существующие во всяком случае не менее нескольких сот лет. Все это свидетельствует о присутствии в комете твердой части, называемой кометным ядром.

Массы и размеры кометных ядер должны быть очень малы. В пользу такого заключения говорят многие факты. Еще в 1770 г. комета Лекселя прошла через систему спутников Юпитера, не вызвав никаких заметных изменений в их движении. Это доказывало, что ее масса значительно меньше массы Земли. В июле того же года комета Лекселя пролетела всего лишь на расстоянии 2,4 млн. км от Земли. Как подсчитал Лаплас, если бы масса кометы равнялась земной, то вследствие возмущений со стороны кометы земной год увеличился бы на 2 часа 48 мин. Между тем дальнейшие исследования показали, что он не увеличился даже на 3 секунды, а отсюда можно вычислить, что масса кометы Лекселя не превышает $\frac{1}{5000}$ массы Земли.

С другой стороны, наблюдаемое в кометах видимое ядро — звездообразный светящийся сгусток в ее голове — явно не есть твердое образование. Наблюдения показывают, что с приближением к Земле поперечник видимого ядра уменьшается, а с удалением от Земли снова увеличивается. Так, например, поперечник видимого ядра кометы Галлея в 1910 г. менялся следующим образом: 13 апреля он был равен 10 200 км, 10 мая — 1600 км, 23 мая — 460 км и 11 июня — 3700 км!

Ясно, что если бы видимое ядро было твердым образованием, его истинный поперечник (в километрах) не зависел бы от расстояния до Земли. На самом же деле размеры видимого ядра кометы зависят не только от расстояния до кометы, но и от мощности инструмента, которым пользуется наблюдатель. Оказывается, чем крупнее телескоп и чем больше употребляемое увеличение, тем меньше видимое ядро. Все это доказывает, что видимое ядро представляет собой сферический сгусток газов, с увеличивающейся к центру плотностью, которые обволакивают настоящее твердое и очень небольшое кометное ядро.

Каковы же размеры реальных кометных ядер?

В мае 1910 г. ядро кометы Галлея проходило между Землей и Солнцем, проектируясь на солнечный диск. Несмотря на то, что видимый путь кометного ядра по диску Солнца был заранее вычислен и наблюдения производились в мощные телескопы, никаких следов ядра кометы Галлея на диске Солнца обнаружить не удалось. Исходя

из мощностей применявшихся инструментов, было подсчитано, что поперечник ядра кометы Галлея не превышает 30 км.

В июне 1927 года к Земле весьма близко (5,8 млн. км) подошла комета Понс-Виннеке (1927 VII). В мощный



Рис. 9. Комета Галлея (фотография сделана в 1910 г.).

рефрактор Медонской обсерватории с объективом диаметром 83 см удалось, повидимому, различить действительное ядро кометы. Оно казалось слабенькой звездочкой 14-й величины. Предполагая, что кометное ядро отражает 10% падающего на него солнечного света,

астроном Бальде нашел поперечник ядра кометы 1927 VII близким к 400 м. Такой же поперечник по исследованию Бальде имело ядро кометы 1930 VI. Позже были предприняты многочисленные попытки оценить массу и размеры кометных ядер, исходя из тех или иных гипотез об их структуре. Особенно интересны в этом отношении работы последних лет.

В 1945 г. Б. А. Воронцов-Вельяминов подверг подробному анализу различные методы определения размеров кометных ядер. В те годы господствовало давно установившееся представление о кометных ядрах как о сравнительно плотных роях отдельных метеоритных глыб. Исходя из этих представлений, Б. А. Воронцов-Вельяминов разработал новый метод, позволяющий вычислить как общий поперечник ядра, так и приближенные размеры составляющих его глыб.

Применив этот метод к комете Галлея, Б. А. Воронцов-Вельяминов нашел, что ее ядро имеет поперечник около 60 км и состоит из отдельных метеоритных глыб общим числом около миллиона с диаметром порядка 150 м каждая.

Такой плотный рой твердых тел, как показывают подсчеты, не может быть разрушен приливными силами Солнца, а потому он достаточно устойчив и долговечен. Однако принятая Б. А. Воронцовым-Вельяминовым модель ядра вызывает возражения в другом отношении.

В 1950 г. казанский астроном А. Д. Дубяго показал, что в подобном ядре отдельные глыбы будут каждые несколько минут сталкиваться друг с другом, дробясь и разрушаясь при этом. Так как столкновения вызовут выделение тепла, безвозвратно покидающего ядро, общая механическая энергия ядра станет непрерывно уменьшаться. В результате за короткий срок движение отдельных глыб в ядре прекратится, и рой соберется в единое компактное тело.

Однако здесь снова возникают затруднения. Считать ядро кометы монолитным телом сравнительно небольших размеров нельзя, так как в этом случае непонятно, каким образом с весьма малой площади поверхности такого ядра при его сближении с Солнцем выделяется значительное количество газов.

Выход из затруднения в настоящее время находят в «ледяной» модели кометного ядра. Согласно новейшим

взглядам, основная масса кометного ядра состоит из «льдов» различных газов — метана, аммиака, углекислого газа и т. д. Среди них есть и обычный водяной лед. Все эти «льды» не чисты — к ним примешаны многочисленные твердые тугоплавкие частицы металлического или каменистого характера. Когда такое монолитное «ледяное» ядро приближается к Солнцу, затвердевшие газы испаряются, минуя жидкое состояние (возгоняются), а твердые частицы, входившие в них как примеси, оседают на поверхности ядра, образуя более или менее толстый слой твердой пыли. Плохая теплопроводность этого слоя предохраняет «ледяное» ядро от слишком быстрого испарения и обеспечивает комете достаточно длительное существование.

«Ледяная» модель ядра удачно разрешает ряд вопросов, до сих пор бывших неясными. Во-первых, она хорошо объясняет наличие большого количества газов, выделяющихся из небольшого кометного ядра, так как в этом случае замерзшие газы при малом объеме имеют весьма высокую концентрацию. Во-вторых, выброс «ледяными» ядрами значительного количества газов вызывает реактивное давление на ядро, что, как показал А. Д. Дубяго, хорошо объясняет давно известные вековые замедления или ускорения в движении короткопериодических комет.

Исследования последних лет приводят к выводу, что твердые конденсаты различных газов в виде кусочков «загрязненного» льда встречаются как в нашей солнечной системе, так и за ее пределами.

Еще в 1949 г. Б. Ю. Левин, исследуя вопрос о происхождении больших планет по теории О. Ю. Шмидта, пришел к выводу о наличии в зоне планет-гигантов твердых тел, состоящих из затвердевших газов. Им тогда же была высказана гипотеза о наличии большого количества различных «льдов» в ядрах комет. С другой стороны, в спектре колец Сатурна обнаружены полосы поглощения водяного инея. Весьма вероятно, наконец, что частицы межзвездной пыли напоминают собой кристаллики загрязненного льда.

Таким образом, в свете новейших данных ядра комет — это весьма своеобразные тела, мало похожие на планеты и метеориты. Возможно, что ядра комет сходны с мелкими спутниками больших планет, повидимому, также в основном состоящими из замерзших газов.

7. СОСТАВ КОМЕТ И ИХ СВЕЧЕНИЕ

Спектральный анализ позволяет узнать, какие молекулы обуславливают свечение голов и хвостов комет, а также выяснить наличие в кометах твердой, отражающей солнечные лучи пыли. При этом остается открытым вопрос о присутствии в кометах молекул, дающих излучение в невидимых лучах спектра. Такие молекулы в кометах, несомненно, есть, но об их существовании, как будет указано ниже, мы можем судить лишь по косвенным данным.

Уже первые визуальные наблюдения кометных спектров, начатые в 1864 г., показали их сложный характер. Позже, с 1907 г., началось систематическое фотографирование спектров комет, что позволило проникнуть в ультрафиолетовую часть спектра, не воспринимаемую человеческим глазом. В настоящее время основные сведения о кометных спектрах сводятся к следующему.

Различные части кометы порождают разные спектры. Видимое ядро кометы и области головы, непосредственно к нему примыкающие, дают непрерывный спектр с множеством темных линий, являющийся ослабленной копией солнечного спектра. Приписать этот спектр простому отражению солнечных лучей от реального ядра кометы нельзя, так как это ядро очень мало, и для современных средств исследования его спектр практически недоступен. Происхождение непрерывного спектра видимых кометных ядер пока не ясно. Возможно, что вблизи ядра, где газы головы кометы наиболее плотны, они рассеивают солнечные лучи подобно земной атмосфере. Может быть, ядро кометы окутано облаком мелких твердых пылинок, которые и отражают солнечные лучи. Решение этой проблемы принадлежит будущему.

Наиболее интенсивные излучения, преобладающие в кометных спектрах, наблюдаются в головах комет. Спектр голов комет — всегда газовый. Он состоит из отдельных полос, характерных для молекулярных спектров.

В видимой части спектра головы кометы выделяются три полосы (желтая, зеленая и голубая), называемые спектром Свана и принадлежащие молекулам углерода C_2 . В фиолетовой и ультрафиолетовой части спектра обнаружены группы полос, порожденных цианом (CN)

и, повидимому, молекулами C_3 . Кроме того, детальные исследования последних лет позволили обнаружить в составе голов комет молекулы OH , NH , NH_2 и однократно ионизованные молекулы CH^+ *). О наличии в головах комет нейтральных молекул CH было известно еще раньше.

Сравнительная яркость голов комет позволяет детально исследовать их спектр. Гораздо труднее получить и изучить спектры слабо светящихся кометных хвостов. Как уже отмечалось, для этого в большинстве случаев приходится пользоваться призмными камерами, но на полученных с их помощью спектрах изображения кометы в разных лучах налагаются друг на друга, что сильно затрудняет отождествление этих изображений с линиями и полосами известных излучений. Вот почему в истолковании некоторых спектрограмм кометных хвостов имеются разногласия, окончательное разрешение которых станет возможным лишь в будущем. В последнее время, в частности для кометы 1947 k, получены щелевые спектрограммы хвостов, что, разумеется, значительно облегчит их изучение. Пока же несомненно, что среди кометных хвостов встречаются как газовые хвосты, так и пылевые. В спектрах первых из них наблюдаются отдельные полосы, принадлежащие ионизованным молекулам азота (N_2^+) и угарного газа (CO^+). Спектры пылевых хвостов, отражающих солнечный свет, должны быть сильно ослабленной копией солнечного спектра, хотя наблюдения пока не дают возможности обнаружить в них фраунгоферовы линии.

Если комета подходит к Солнцу ближе 0,8 а. е., то в спектре частей головы, близких к ядру, появляются линии натрия. Лишь однажды, в 1882 г., астрономам удалось наблюдать спектр кометы (1882 II) в тот момент, когда ее расстояние от Солнца составляло всего 0,01 а. е. Вид спектра, наблюдавшегося визуально, был необычным: на фоне яркой непрерывной радужной полосы сверкали многочисленные линии в красной, желтой и зеленой частях спектра. Впоследствии выяснилось, что они принадлежали натрию (Na), никелю (Ni), железу (Fe), хрому (Cr), окиси углерода (CO) и ранее известным молекулам углерода (C_2).

*) Знак + означает однократную ионизацию данной молекулы.

Таким образом, по данным спектрального анализа состав различных частей кометы различен. Головы комет, всегда газовые, состоят в основном из молекул углерода, циана и некоторых углеводородов. Хвосты комет бывают пылевые и газовые, причем в состав газовых хвостов входят ионизованные молекулы азота и угарного газа.

Детальное изучение спектров комет привело к выводу, что свечение комет есть холодное свечение, вызванное процессами люминесценции (для газовых частей кометы)

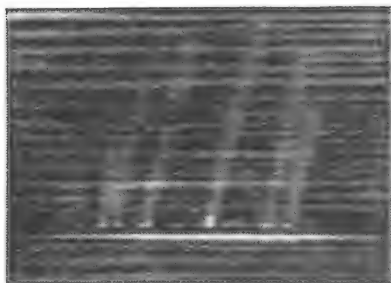


Рис. 10. Спектр кометы Морхауза (1908 III), полученный с помощью призмной камеры.

и отражением солнечного света (для пылевых хвостов и ядра). Явление люминесценции газов широко известно: свет уличных реклам из стеклянных трубок вызван люминесценцией находящихся в них газов. Есть, однако, существенное отличие свечения рекламных трубок от люминесценции комет. В трубках, например, свечение газовых молекул порождается ударами электронов, разгоняемых электрическим полем. Что же касается люминесценции комет, то она вызвана излучением Солнца. Молекулы газов, входящих в состав кометы, поглощают энергию солнечных лучей и тотчас же излучают ее сами без изменения длины световых волн. Такой процесс холодного свечения называется резонансным излучением или флюоресценцией.

При знакомстве с составом голов комет обращает на себя внимание одна характерная деталь: в головах комет встречаются молекулы, явно химически нестабиль-

ные, которые очень быстро соединяются с другими молекулами и поэтому в условиях заметной плотности обычно не наблюдаются. Таковы различные «радикалы» — CH , NH , OH и др. Их сравнительно устойчивое существование в головах комет объясняется тем, что плотность газов в кометах ничтожно мала (в миллиарды раз меньше плотности комнатного воздуха), а потому соударения и последующие объединения этих молекул практически не происходят. Но тогда возникает другой вопрос: откуда берутся эти нестабильные молекулы?

До появления «ледяной» модели ядра господствовала следующая гипотеза, высказанная в 1943 г. и развитая затем Б. Ю. Левиным. Суть ее заключается в следующем.

Ядра комет, как и все твердые тела, обладают способностью скапливать в поверхностном слое, а иногда и по всему своему объему, различные газовые молекулы. Такой процесс поглощения газа твердым телом называется сорбцией, причем различают поверхностную сорбцию (адсорбцию) и объемную сорбцию (абсорбцию). Сорбированные газы располагаются в тех межкристаллических и внутрикристаллических микроскопических трещинах, которые имеются в каждом твердом теле. При нагревании твердого тела сорбированные в нем молекулы начинают быстро двигаться, и некоторые из них, достигнув поверхности тела, испаряются в окружающее пространство.

Прогреванием метеоритов, имеющих в лабораториях, можно выделить сорбированные в них газы. Оказалось, что внутри метеоритов содержатся молекулы CO_2 , CO , CH_4 , H_2 , N_2 , $(\text{CN})_2$ и др.

Допустим, что в кометных ядрах сорбированы аналогичные газовые молекулы. Когда комета приближается к Солнцу, абсолютная температура T ее ядра растет, причем связь температуры с расстоянием кометы от Солнца r (в а. е.) может быть приближенно выражена простой формулой

$$T = \frac{300}{\sqrt{r}}.$$

Как показывают наблюдения, уже на расстоянии 1,5—2 а. е. от Солнца, т. е. при сравнительно низких температурах (порядка -150°C), из ядра кометы начинают испаряться газы. Вылетевшие из ядра молекулы под

действием энергичных ультрафиолетовых квантов *) солнечного излучения распадаются на более простые и химически неустойчивые молекулы. Этот процесс, объясняющий наличие «радикалов» в головах комет, носит название фотодиссоциации. Так, например, «родительская» молекула дициана $(\text{CN})_2$, вылетевшая из кометного ядра, распадается благодаря фотодиссоциации на две молекулы циана CN . Молекулы NH_2 обязаны своим происхождением молекулам аммиака NH_3 , повидимому, содержащимся в ядре, и т. п. Подробному рассмотрению этих процессов посвящены интересные исследования С. М. Полоскова. Видимое свечение головы кометы вызвано главным образом молекулами углерода, а сила света головы кометы пропорциональна общему числу молекул углерода, находящихся в ней в данный момент. Исходя из этих соображений, Б. Ю. Левин в 1943 г. вывел теоретическую формулу, связывающую абсолютный блеск кометы H_0 , ее приведенный блеск H_1 (т. е. блеск с расстояния 1 а. е. от Земли) и расстояние кометы от Солнца. Прежняя формула (см. стр. 29) имеет чисто эмпирический характер. Сравнение новой формулы с наблюдениями дало гораздо лучшие результаты, чем обработка наблюдений по старой формуле.

Позднее, в 1948 г., Б. Ю. Левин разработал метод, учитывающий потерю газов ядром кометы при прохождении через перигелий, а также и некоторые другие сравнительно тонкие эффекты. Процессы выделения газов из кометных ядер в связи с блеском комет изучались также советскими астрономами Б. А. Воронцовым-Вельяминовым, В. Г. Рийвесом, О. В. Добровольским и др.

В настоящее время вместо выделения (десорбции) газов из кометных ядер рассматривают процессы испарения «ледяного» кометного ядра и диффузию испаряющихся молекул через покрывающий ядро слой твердой пыли.

Разработка обоснованной теории этих процессов, хорошо объясняющей кометные явления с количественной и качественной сторон (в частности, изменение блеска комет) — такова ближайшая задача, над решением которой успешно работают советские астрономы.

*) Квант — элементарная «частица» света.

8. ГОЛОВА КОМЕТЫ

Перейдем к рассмотрению того, каким образом из частиц, покинувших ядро кометы, формируется ее голова. Теория, приближенно объясняющая процесс формирования голов и хвостов комет и называемая механической теорией кометных форм, была предложена в первой половине прошлого века Брандесом и Бесселем, а затем развита, дополнена и значительно усовершенствована в трудах знаменитого русского исследователя комет Ф. А. Бредихина, а также советских ученых С. В. Орлова, А. Я. Орлова, Н. Д. Моисеева и других.

В настоящее время эта теория перестала быть чисто механической, и с каждым годом она все более и более дополняется идеями и фактами из области физики.

Современная теория головы кометы имеет в своей основе «фонтанную» теорию, созданную Бесселем и Бредихиным. Суть ее заключается в следующем.

Представим себе частицу, вылетевшую из ядра кометы. Давно известная направленность кометных хвостов в сторону, противоположную Солнцу, показывает, что на частицу, кроме силы притяжения к Солнцу, будет действовать отталкивательная сила, исходящая от Солнца. Пусть масса Солнца равна M , а расстояние частицы от Солнца r . Тогда ускорение, сообщаемое частице притяжением к Солнцу, будет равно $k^2 \frac{M}{r}$, где k^2 — постоянная тяготения.

Допустим, что ускорение, сообщаемое частице отталкивательной силой, в m раз больше ускорения силы тяготения, а разность этих ускорений, называемая эффективным ускорением частицы, в μ раз больше ускорения силы притяжения к Солнцу. Тогда

$$\frac{k^2 M m}{r^2} - \frac{k^2 M}{r^2} = \frac{k^2 \mu M}{r^2} \quad \text{или} \quad m = 1 + \mu.$$

В последней формуле отталкивательное ускорение m выражается в долях ускорения тяготения к Солнцу.

Для того чтобы исследовать движение частицы относительно ядра кометы, приложим к ядру и к частице ускорение силы тяготения, направленное в обратную сторону. В этом случае ядро как бы не будет притягиваться

Солнцем, и результирующее ускорение частицы станет равным

$$\frac{k^2\mu}{r^2} + \frac{k^2}{r^2} = k^2 \frac{1+\mu}{r^2}.$$

В полученном выражении расстояние ядра кометы от Солнца принято приближенно равным r , а масса Солнца равной 1.

Представим себе теперь, что из ядра кометы по всевозможным направлениям, но с одинаковой начальной скоростью вылетает множество частиц. Каждая из них, покинув ядро, будет двигаться под действием постоянного по величине и направлению (для данного r) ускорения $k^2 \frac{1+\mu}{r^2}$.

Ускорение каждой из частиц можно считать постоянно направленным параллельно радиусу-вектору кометы, т. е. отрезку, соединяющему Солнце и кометное ядро. Нетрудно видеть, что рой частиц, вылетевших из ядра, будет подобен водяным каплям, выброшенным фонтаном, так как каждая из капель движется под действием приближенно постоянного ускорения силы тяжести ($g \approx 9,8 \frac{m}{сек^2}$). Известно, что тело (камень, снаряд, капля и т. п.), брошенное под некоторым углом к горизонту, в безвоздушном пространстве будет двигаться по параболе. Поэтому и траектории частиц, формирующих голову кометы, рассматриваемые относительно ядра, также представляют собой параболы.

Представим себе кривую, изображенную пунктиром на рис. 11, которая касалась бы каждой из всевозможных траекторий частиц только в одной точке. Эта кривая, называемая огибающей, характеризует очертания «фонтана». Можно доказать, что огибающая (т. е. очертание головы кометы) также является параболой.

На рис. 11 буквой B обозначена вершина головы кометы, т. е. ее ближайшая к Солнцу точка. Расстояние вершины головы кометы от ее ядра, обозначаемое буквой ξ , играет большую роль в рассматриваемой нами теории. Найдем связь между этим расстоянием, начальной скоростью вылета частицы из ядра кометы (v_0) и ускорением a той же частицы относительно ядра. Частицы, вылетевшие из ядра кометы вдоль радиуса-вектора и долетевшие до вершины головы, должны вновь упасть на

ядро, так как результирующее ускорение направлено от Солнца, т. е. они подобны камню, брошенному вертикально вверх.

Известно, что высота h , на которую поднимется брошенное тело, связана с его начальной скоростью v_0 и ускорением силы тяжести g простым соотношением: $v_0 = \sqrt{2gh}$.

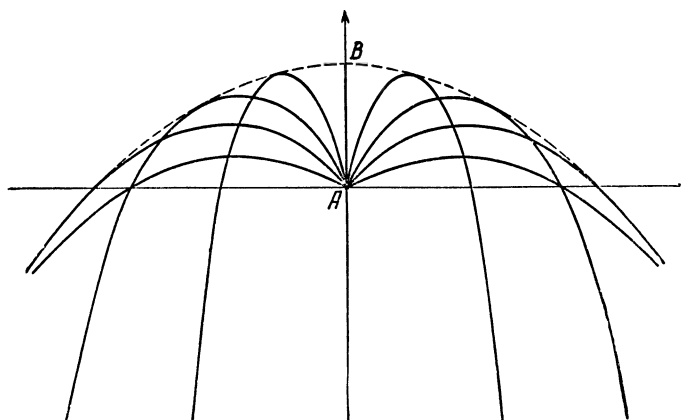


Рис. 11. Образование головы кометы по «фонтанной» теории.

Применяя эту формулу для частицы, достигшей вершины головы кометы, получаем:

$$v_0 = \sqrt{2 \frac{k^2(1+\mu)}{r^2} \xi} \quad \text{или} \quad \xi = \frac{v^2 r^2}{2k^2(1+\mu)}.$$

Эта простая формула позволяет объяснить некоторые важные особенности в развитии головы кометы. Уже давно известно, что размеры головы кометы с приближением кометы к Солнцу меняются сложным образом. Вдали от Солнца (на расстоянии больше 3 а. е.) комета имеет вид маленького туманного пятнышка с ядром вблизи центра. С приближением кометы к Солнцу выделение газов из ядра усиливается, образуются оболочки, голова кометы растет и на расстоянии около 2,5 а. е. приобретает наибольшие размеры. После этого голова кометы начинает уменьшаться и достигает наименьшей величины при прохождении кометы через перигелий. Вот это уменьшение головы кометы (а следовательно,

и величины ξ) объясняется выведенной формулой, по которой с уменьшением r уменьшается и ξ .

Физическая причина этого явления вполне ясна. С приближением к Солнцу ускорение частиц головы кометы относительно ее ядра быстро возрастает, и эти частицы

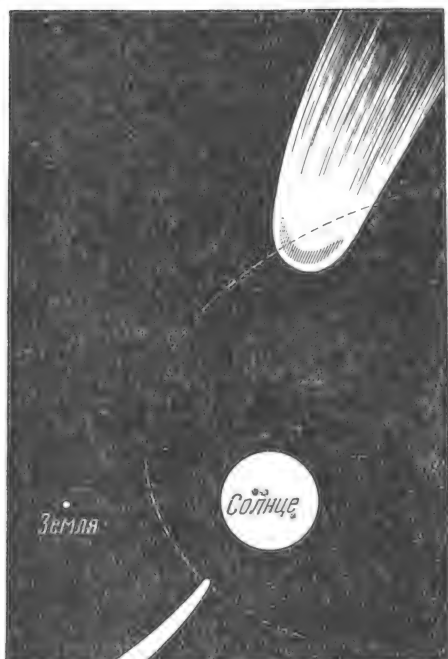


Рис. 12. Уменьшение головы кометы с приближением к Солнцу.

стремительнее и по все более «суженным» параболам уносятся в сторону, противоположную Солнцу.

Изложенная механическая теория головы кометы носит, разумеется, грубо приближенный характер. Действительные процессы, происходящие в головах комет, несравненно сложнее этой упрощенной схемы.

Так, например, благодаря фотодиссоциации, молекулы, покидающие ядро кометы, быстро распадаются на другие молекулы и, следовательно, нельзя говорить о частицах, неизменных на протяжении всего полета от ядра кометы

до конца ее хвоста. При этом «родительские» молекулы излучают свет, недоступный глазу, между тем как некоторые порожденные ими при фотодиссоциации «дочерние» молекулы могут быть вполне доступны визуальным наблюдениям.

Головы комет, вопреки теории, далеко не всегда имеют параболические очертания.



Рис. 13. Оболочки в голове кометы.

В головах комет нередко наблюдаются неоднородности, имеющие сложный характер и требующие объяснений.

Из деталей, наблюдаемых в голове, особенно интересны оболочки (рис. 13). У некоторых комет их видно несколько, причем концентричность расположения оболочек бросается в глаза.

Изучением формы оболочек и их расположения относительно ядра кометы занимались многие ученые, в особенности С. В. Орлов. В последнее время (1952 г.) советский астроном О. В. Добровольский сделал успешную попытку объяснить наблюдаемые формы оболочек и их движение.

Добровольский рассматривает оболочки как нестационарные образования, состоящие из облаков частиц, выброшенных ядром кометы. По его расчетам облако частиц, вылетевших из ядра по разным направлениям, но с одинаковыми скоростями, образует сферическую (а не параболическую, как раньше считали) оболочку, центр которой будет медленно смещаться по отношению к ядру кометы. Оболочки, выброшенные в разное время, образуют многоярусную, приближенно концентрическую систему оболочек.

Эта новая теория хорошо согласуется с фактами — наблюдениями кометы Галлея в 1910 г. По подсчетам О. В. Добровольского отталкивательное ускорение $1 + \mu$ частиц в оболочках кометы Галлея близко к 0,05. Это значительно меньше прежнего значения $1 + \mu \approx 1$, принятого без достаточных оснований.

Так как размеры головы зависят от расстояния до Солнца, то сравнение поперечников голов различных комет имеет смысл производить лишь для одного и того же расстояния от Солнца.

Таким «стандартным» расстоянием принимается расстояние в 1 а. е. Вот поперечники голов некоторых из комет, вычисленные для этого расстояния:

1811 I	1 200 000 км,	1910 II	300 000 км,
1882 II	600 000 км,	1908 III	270 000 км,
1858 VI	360 000 км,	1910 I	180 000 км.

Из таблицы видно, что кометы (с учетом их хвостов, тянущихся нередко на сотни миллионов км) являются исполинскими небесными светилами, превышающими по размерам даже Солнце. Однако эта грандиозность весьма призрачна, так как общая масса кометы ничтожно мала, а плотность газов даже в районе кометного ядра в миллиарды раз меньше плотности комнатного воздуха.

Газы из кометных ядер выделяются неравномерно. Нередко в головах комет наблюдаются облачка, именуемые облачными образованиями. Они ускоренно продвигаются в сторону, противоположную Солнцу. Изучив движение облачных образований, можно определить величину отталкивательных ускорений составляющих их молекул.

Оказалось, что эти ускорения близки к 1 (в долях ускорения тяготения к Солнцу) для облаков из углерода (C_2) и к 2,5 для облаков циана (CN).

Иногда в кометах видны галосы. Некоторые из галосов — газовые, состоящие из C_2 , CN и CH_2 (кометы 1884 I, 1910 II), другие из них — пылевые, светящиеся отраженным от Солнца светом (комета 1892 III).

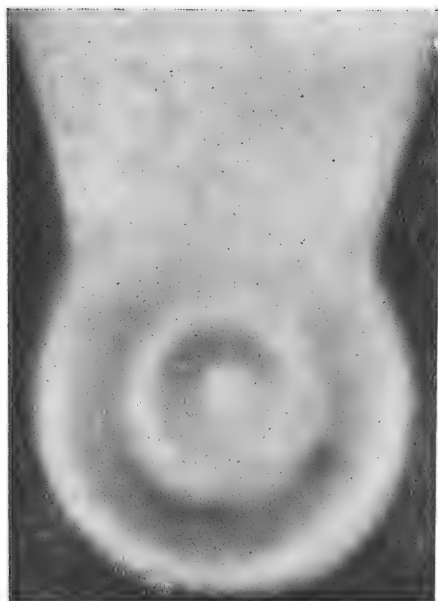


Рис. 14. Галосы, окружающие кометное ядро.

Галосы образуются при одновременном взрывном выделении из ядер по всем направлениям облака газовых молекул или твердой пыли. Характерной особенностью галосов является то, что на частицы, их составляющие, отталкивательные силы со стороны Солнца, повидимому, не действуют вовсе.

Впрочем, О. В. Добровольский считает, что между галосами и оболочками имеется полное сходство в отношении отталкивательных ускорений, и лишь кратковременная видимость галосов не позволяет пока выявить

наличие у них такого же слабого отталкивательного ускорения, как и у оболочек. Таким образом, природа галосов пока не вполне ясна.

Иногда (весьма редко) у комет появляются более или менее длинные конусообразные выступы, направленные из головы кометы к Солнцу. Они называются аномальными хвостами и, повидимому, состоят из сравнительно крупных осколков, на которые распадается кометное ядро. Отталкивательные силы Солнца на частицы аномальных хвостов заметного воздействия не оказывают.

В последние годы С. В. Орлов предложил следующую классификацию кометных голов.

Если ядро кометы полностью растеряло газы при многократных прохождении вблизи Солнца, то голова (всегда газовая) у такой кометы вовсе отсутствует, а пылевые хвосты начинаются непосредственно от «голового» ядра. Такова была комета 1901 I. Для таких «безголовых» комет С. В. Орлов вводит обозначение N (рис. 15).

Если ядро кометы сравнительно бедно газами, то голова кометы состоит из одной комы и имеет «луковичный» вид (тип C). Наконец, головы комет, богатых газами, всегда окаймлены параболическими оболочками (тип E).

Каждый из трех типов голов может иметь галосы (что обозначается буквой h) и аномальный хвост (a). В этом случае тип головы кометы обозначается, например, E_{ha} (комета 1882 II); N_h (комета 1892 III) и т. п.

Подавляющее большинство комет обладает головами «луковичного» вида (тип C). В 1954 г. Б. А. Воронцов-Вельяминов подверг исследованию одну из таких «типичных» комет — комету 1942 d Уиппла-Тевзадзе (рис. 20 на стр. 56). Фотометрическое изучение фотографий этой кометы, полученных на Абастуманской астрофизической обсерватории, показало, что голова имела сферическую структуру и что пространственная плотность вещества в ней изменялась обратно пропорционально квадрату расстояния от ядра.

Общая масса головы (без ядра) оказалась близкой к 600 000 т. Если учесть, что поперечник головы кометы 1942 d по подсчётам Б. А. Воронцова-Вельяминова получился равным 6 000 000 км (т. е. в четыре раза больше поперечника Солнца), то окажется, что наибольшая плотность газов в голове кометы не превышает 10^{-11} г/см³,

что в 100 миллионов раз меньше плотности комнатного воздуха.

К аналогичным выводам в отношении размеров голов «типичных» комет пришел и автор этих строк, по

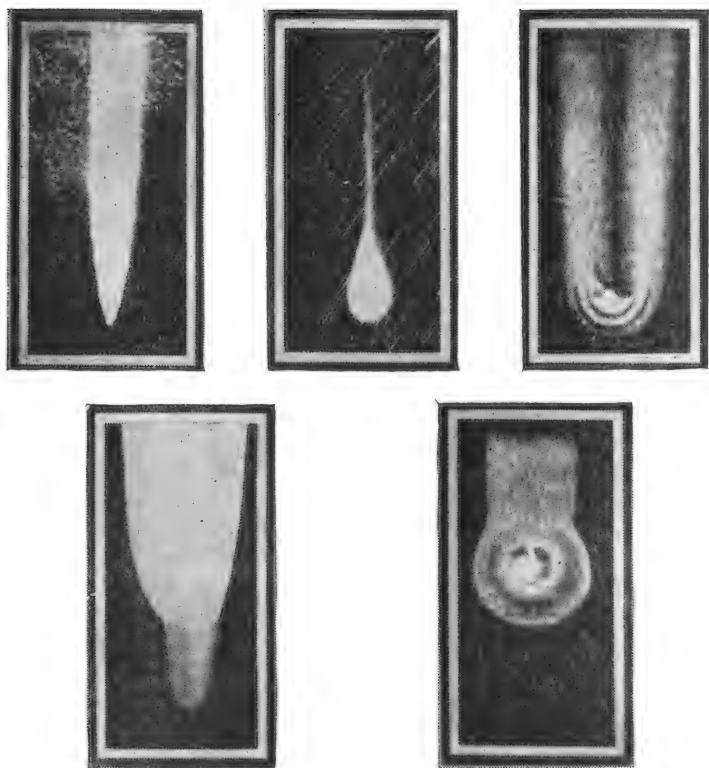


Рис. 15. Типы голов комет по классификации С. В. Орлова. Верхние снимки — головы комет типов N , C и E , нижние снимки — типов E_a и N_h .

подсчётам которого диаметр головы кометы 1948 d (Хонда) превосходил поперечник Солнца.

Таким образом, на расстояниях порядка 1,5 а. е. от Солнца головы многих комет приобретают исполинские размеры при ничтожно малой средней плотности составляющих их газов. Поскольку в «типичных» кометах

плотность вещества головы с удалением от ядра постепенно сходит на нет, понятие диаметра головы таких комет становится условным, зависящим от способности наблюдателя различать ту или иную границу кометы.

На основе изучения кометы 1942 d Б. А. Воронцов-Вельяминов приходит к заключению, что молекулы циана и углерода выбрасываются из ядра во все стороны в постоянном количестве и с постоянной скоростью и затем, двигаясь равномерно, образуют сферическую голову «типичной» кометы.

Таким образом, строение голов больших и «типичных» комет, повидимому, весьма различно. Причина этого различия пока не выявлена, но ясно одно — головы комет имеют весьма сложное строение, и упрощенная механическая «фонтанная» теория не может объяснить многих фактов, накопленных современной астрофизикой.

На смену «фонтанной» теории должна придти новая физическая теория голов комет.

9. ХВОСТЫ КОМЕТ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

Для того чтобы у кометы был виден заметный хвост, необходимо, во-первых, достаточное сближение ее с Солнцем и, во-вторых, благоприятные условия для наблюдений с Земли. Чем ближе подойдет комета к Солнцу, тем полнее разовьются все ее формы, в том числе и хвост. Кометы, перигелийные расстояния орбит которых больше 2 а. е., либо вовсе не имеют хвостов, либо хвосты их невелики (например, комета 1892 III).

Большинство телескопических комет, открываемых по несколько ежегодно, лишено заметных хвостов, что во многих случаях объясняется их удаленностью от Земли и неудобными условиями наблюдений. Что касается комет, близко подходящих к Земле и Солнцу, то большинство их имеет хвосты, иногда весьма эффектные. Нередки случаи, когда одна комета обладает сразу двумя, тремя, а иногда и четырьмя хвостами (включая аномальный хвост).

В 70-х годах прошлого века знаменитый русский исследователь комет Ф. А. Бредихин открыл, что, несмотря на обилие различных комет и многообразие их хвостов, эти хвосты можно разделить по механическим характеристикам только на три основных типа. Бреди-

хин детально исследовал строение хвостов и доказал, что основной механической характеристикой хвоста, по которой его можно отнести к тому или иному типу, являются отталкивательные ускорения частиц данного хвоста.

Основными элементами, на которые разлагаются кометные хвосты при их исследовании, согласно Бредихину,

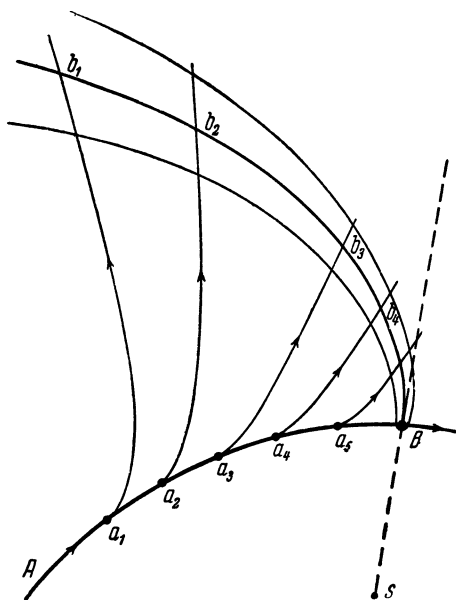


Рис. 16. Образование синдинами.

являются так называемые синдинами и синхроны. Представим себе, что из ядра кометы вылетела частица, движущаяся по отношению к Солнцу с эффективным ускорением $\frac{k^2\mu M}{r^2}$ (см. стр. 41). Можно доказать, что траектория такой частицы представляет собой ветвь гиперболы, своей выпуклостью обращенной к Солнцу.

Допустим, что из ядра кометы, движущейся по орбите АВ (рис. 16), непрерывно вылетают частицы, эффективное (а следовательно, и отталкивательное) ускорение которых одинаково. Если при этом и начальные условия вылета (т. е. величина и направление начальной скорости, с которой частицы покидают ядро) также одинаковы, то,

как доказал Бредихин, совокупность вылетевших частиц расположится по кривой, названной им *синдиной*, т. е. «односилой» (кривая $b_1b_2b_3b_4B$ на рис. 16).

Вследствие небольших размеров ядра и малых начальных скоростей вылета частиц синдинама лежит в плоскости, почти совпадающей с плоскостью орбиты кометы, и при этом касается продолженного радиуса-вектора кометы (SB) в точке, совпадающей с ее ядром. Совокупности подобных синдинам и составляют хвосты комет.

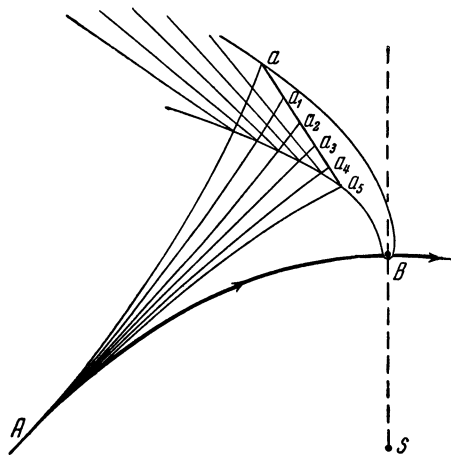


Рис. 17. Образование концевых синхрон.

Строго говоря, кометные хвосты, конечно, не бывают плоскими. Всевозможные синдинамы, составляющие хвост кометы, образуют в пространстве поверхность, называемую *синдинамным коноидом* и напоминающую искривленный воловий рог. Основная часть вещества нередко сосредоточивается вблизи поверхности этого «рога», а потому края таких кометных хвостов кажутся более яркими, чем сравнительно темная осевая полоса.

Наряду с непрерывными извержениями из кометного ядра бывают случаи, когда в ядре происходит нечто вроде взрыва, выделяющего одновременно множество различных частиц. Каждая частица будет двигаться со своим вполне определенным отталкивающим ускорением. Можно доказать, что в этом случае вылетевшие частицы растянутся вдоль кривой, почти не отличаю-

щейся от прямой линии, направленной к ядру кометы. Эта кривая названа Бредихиным синхроной, т. е. «одновременной» ($aa_1a_2a_3a_4a_5$ на рис. 17).

Если в выметевшем облаке присутствуют частицы со всевозможными ускорениями от 0 до 2,2, то синхрона будет начинаться от ядра кометы. Такие синхроны называются полными ($a_1a_2a_3B$ на рис. 18). Если же частицы облака обладают отталкивательными ускорениями в границах от 0,6 до 2,2, то такая, как ее называют, конечная синхрона будет иметь вид полосы, пересекающей

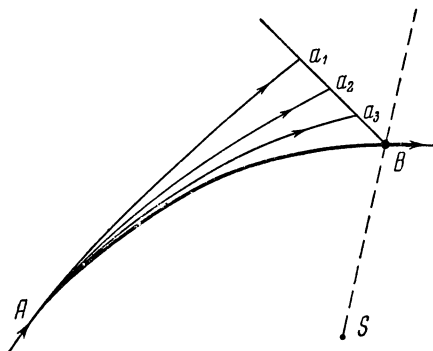


Рис. 18. Образование полной синхроны.

хвост кометы и направленной к ее ядру. Нетрудно видеть, что полные синхроны могут иногда заходить в область концевых синхрон.

Классификация кометных хвостов, введенная Ф. А. Бредихиным, заключается в следующем.

К хвостам I типа Бредихин отнес почти прямолинейные хвосты, тянущиеся вдоль продолженного радиус-вектора и иногда слегка искривленные в сторону, обратную движению кометы. В них отталкивательные ускорения $1 + \mu$ наиболее значительны и, как считал Бредихин, кратны числу 18 (т. е. в них $1 + \mu = 18n$, где $n = 1, 2, 3$ и т. д.).

Хвосты II типа более широки и ярки, в них иногда наблюдаются (как, например, в комете Донати 1858 г.) концевые синхроны, и они значительно искривлены в сторону, обратную движению кометы. Передняя граница хвоста II типа совпадает с синдиной, соответствующей

$1 + \mu = 2,2$, средняя линия хвоста — с синдиной $1 + \mu = 1$ и, наконец, задняя граница хвоста — с синдиной $1 + \mu = 0,6$. Таким образом, в хвостах II типа частицы движутся с ускорениями в пределах от 0,6 до 2,2.

К хвостам III типа Бредихин отнес почти прямолинейные и сравнительно короткие хвосты, отклоненные в сто-



Рис. 19. Облачные образования в хвосте кометы Морхауза.

рону, обратную движению кометы, еще больше, чем хвосты II типа.

Для определения принадлежности хвоста данной кометы к тому или иному типу поступают следующим образом. На звездную карту с рисунком хвоста кометы наносят, проделав несложные вычисления, проекции радиуса-вектора и синдины $1 + \mu = 1$. Если хвост идет вдоль радиуса-вектора, он принадлежит к I типу. Если его центральной осью является нанесенная синдинама, то это будет хвост II типа. Наконец, хвост, не удовлетворяющий ни первому, ни второму условию и не направленный к Солнцу, как аномальные хвосты, — это хвост III типа.

Вычисление отталкивательных ускорений в хвостах комет может быть проведено двояко. В первом случае

вычисляют положение (на карте, где изображена комета) нескольких точек синдинами с заданным ускорением $1 + \mu$ и по этим точкам строят синдинему. Очевидно, что в точках изображения хвоста, по которым проходит синдинама, будут находиться частицы, обладающие данным ускорением.

Такой способ хорош для хвостов, имеющих заметную кривизну. Определение отталкивательных ускорений в хвостах I типа производится иначе. В этих хвостах нередко наблюдаются облачные образования, ускоренно продвигающиеся от головы кометы вдоль ее хвоста. Определив из наблюдений положение такого облачного образования для различных моментов времени, можно достаточно уверенно вычислить отталкивательные ускорения его частиц. Этот простой и в то же время точный метод исследования хвостов I типа был разработан советским ученым проф. А. Я. Орловым.

Классификация кометных хвостов по механическим признакам, разработанная Бредихиным, имеет в своей основе физическое различие кометных хвостов, как об этом догадывался и сам Бредихин. Полагая, что хвосты I типа состоят из наиболее легких частиц, хвосты II типа — из более тяжелых, а хвосты III типа — из наиболее тяжелых частиц, Бредихин высказал гипотезу, что произведение отталкивательного ускорения частицы на ее молекулярный вес M есть величина постоянная, т. е. $(1 + \mu) \cdot M = \text{const}$. Приняв, что хвосты I типа состоят из молекул наиболее легкого элемента — водорода, Бредихин смог, исходя из своей гипотезы, определить по отталкивательным ускорениям молекулярные веса, а следовательно, и состав хвостов других типов. По Бредихину, в хвостах II типа присутствуют молекулы углеводородов (CH_4 , C_2H_2 , C_2H_6), молекулы CO , CO_2 и легких металлов (например, натрия Na), а хвосты III типа состоят из молекул тяжелых металлов (например, железа Fe).

Спектроскопические исследования комет, проведенные уже после смерти Бредихина, не подтвердили его взглядов на физическую природу кометных хвостов. В хвостах I типа вместо водорода были обнаружены однократно ионизованные молекулы угарного газа (CO^+) и азота (N_2^+). Спектры хвостов II и III типов получились непрерывными, что может указывать на их пылевую природу.

Тем не менее основы механической классификации кометных хвостов, созданные Бредихиным, и его идеи о различии физической природы хвостов различных типов остаются верными и поныне.

Современная классификация кометных хвостов, разработанная С. В. Орловым и другими советскими



Рис. 20. Комета Уиппла-Тевзадзе (1942 d) с хвостом I типа.

учеными на основе детального изучения механических и физических свойств этих образований, выглядит так.

Хвосты I типа — газовые, состоящие из ионизованных молекул CO^+ и N_2^+ , выделенных ядром кометы. Эти хвосты — синдинамные образования, состоящие по существу из исполинских связок различных синдинам.

Наблюдаемые неоднородности в хвостах I типа вызваны различными причинами. Так, например, ядро в разных местах по-разному прогревается Солнцем, а потому и выделение газов из ядра происходит неравно-

мерно. С другой стороны, ядра комет, повидимому, вращаются вокруг своих осей, и газовые струи, бьющие из такого вращающегося ядра, могут образовать в пространстве гигантские спиралеобразные кривые, что нередко и наблюдается в хвостах I типа (так называемые «гамма-формы»).

Иногда эти неоднородности очень значительны, и внезапно выделившееся из ядра сравнительно плотное облако газов, продвинувшись затем в хвост, создает впечатление «оторвавшегося» хвоста кометы.

Кратность отталкивательных ускорений в хвостах I типа, открытая Бредихиным, повидимому, подтверждается исследованиями С. В. Орлова. По его данным, ускорения кратны не 18, как полагал Бредихин, а числу 22,3, т. е. в хвостах I типа отталкивательные ускорения частиц выражаются формулой

$$1 + \mu = 22,3n, \text{ где } n = 1, 2, 3, \dots, 9.$$

Таким образом, в хвостах I типа обнаружены огромные отталкивательные ускорения, более чем в 200 раз превышающие ускорение тяготения к Солнцу.

С. В. Орлов предлагает отнести к хвостам I типа особые образования, называемые *лучами* (обозначаются по Орлову I_0). Это — длинные прямолинейные концы параболических оболочек головы кометы, быстро «запахивающиеся» к продолженному радиусу-вектору и сейчас же заменяющиеся другими. Они состоят из молекул CO^+ , и отталкивательные ускорения достигают в них колоссальной величины (порядка 1000). Какие же силы сообщают частицам кометных хвостов такие огромные ускорения?

Когда в начале текущего столетия великий русский физик П. Н. Лебедев (1866—1912) доказал, что лучи света давят на освещенные предметы, направленность кометных хвостов в сторону, противоположную Солнцу, казалось, нашла простое и естественное объяснение. Однако только для хвостов II и III типов отталкивательные ускорения составляющих их частиц можно объяснить световым давлением солнечных лучей.

Для газовых хвостов I типа (в особенности для газовых лучей) такое объяснение недостаточно. Отталкивательные ускорения в них слишком велики, чтобы их можно было приписать только световому давлению.

В хвостах I типа действуют мощные и пока не изученные отталкивательные силы какой-то неизвестной природы, несомненно, впрочем, вызванные действием Солнца. Выяснение этого вопроса принадлежит будущему.

Хвосты II и III типов, согласно исследованиям С. В. Орлова, состоят из мелкой твердой пыли и



Рис. 21. Комета Донати 1858 г. с хвостами I и II типов (по рисунку современников). В хвосте II типа видны синхроны.

представляют собой синхронные образования, причем хвосты II типа состоят из концевых синхрон, а хвосты III типа — это полные синхроны. Так как С. В. Орлов считает и те и другие хвосты пылевыми и синхронными, то по его предложению все эти хвосты объединены в один II тип, причем полным синхронам присвоено обозначение II⁰.

Каким же образом возникают пылевые хвосты?

Известно, что в солнечной системе имеется множество метеорных тел, обращающихся вокруг Солнца по всевозможным орбитам. Наша Земля и другие планеты непрерывно бомбардируются этими крошечными косми-

ческими телами. Для Земли такой «обстрел» безопасен — большинство частиц так малы (весом в граммы и доли грамма), что, влетев в земную атмосферу, они распыляются в ней, и, не долетая до Земли, вспыхивают «падающей звездой» — метеором. Более крупные метеорные тела (весом в килограммы и — очень редко — тонны) хотя и достигают поверхности Земли, но их удар о Землю опять-таки бывает, как правило, сильно смягчен атмосферой. Разрушительные падения исполинских метеоритов, подобных Тунгусскому, исключительно редки.

Иные действия производят метеориты, падающие на планеты и спутники планет, которые лишены атмосфер. В этом случае они не теряют своей огромной космической скорости и при ударе, как бы «взрываясь» от мгновенной остановки, раздробляют в мелкую пыль породы в районе падения.

Установлено, что Луна покрыта сравнительно толстым слоем подобной пыли, образующейся за счет непрерывной бомбардировки ее метеоритами. Есть все основания считать, что и спутники планет и астероиды также покрыты более или менее толстым слоем пыли.

Слой пыли, имеющий, правда, иное происхождение, окутывает, как уже отмечалось, и ядра комет.

Так как кометные ядра малы и сила притяжения на их поверхности невелика, то достаточно небольшой «встряски» ядра (скажем, от столкновения с метеорным телом), чтобы часть пыли навсегда покинула ядро. Возможно, что именно при таких столкновениях ядра кометы с метеорными телами и образуются пылевые хвосты. Частицы облака пыли «стряхиваются» с ядра одновременно, поэтому пылевые хвосты состоят из синхрон. Впрочем, частицы пыли могут также увлекаться испаряющимися газами «ледяного» ядра.

Расчеты показывают, что в состав хвостов II типа входят пылинки с поперечником порядка 10^{-5} см и массой (при средней плотности $3,6 \text{ г/см}^3$) порядка 10^{-13} г. Хвосты типа II⁰ (полные синхроны) включают в себя пылинки и осколки диаметром, большим 10^{-5} см. Отгаливающие ускорения в этих хвостах колеблются в пределах от 0 (у ядра кометы) до 2—2,2 (на конце полной синхроны).

В комете 1901 I, обладавшей только пылевыми хвостами, полные синхроны заходили в область хвостов

II типа, так что в этом случае отнести их к какому-нибудь одному из типов оказалось невозможным.

Таким образом, кометы могут иметь не больше трех хвостов (исключая аномальные хвосты). Знаменитая шестихвостая комета 1744 г. (Шезо) по исследованиям Бредихина в действительности обладала одним хвостом I типа, а пять остальных ее «хвостов» оказались пятью концевыми синхронами одного хвоста II типа.

Если природа хвостов I и II⁰ типа (полных синхрон) не вызывает сомнений, то о природе хвостов II типа в последние годы между С. В. Орловым, с одной стороны, и Б. Ю. Левиным — с другой, ведется интересная дискуссия.

С. В. Орлов отстаивает взгляд, согласно которому между головой кометы и ее хвостами нет ничего общего: головы комет — всегда газовые, состоящие в основном из C_2 и CN , хвосты же комет бывают и газовые (но из N_2^+ и CO^+) и пылевые. В голове кометы отталкивательные ускорения близки к 1, в хвостах же I типа они несравненно больше. Хвост и голова кометы похожи на дерево и куст разных пород, растущие в одном месте (из ядра).

По мнению Б. Ю. Левина, пылевая природа хвостов II типа вовсе не доказана. Коренное различие между головой и хвостом кометы относится лишь к хвостам I типа. В хвостах II типа отталкивательные ускорения близки к тем, которые наблюдаются в головах комет. Поэтому Б. Ю. Левин считает, что хвосты II типа образованы из углерода (C_2) и циана (CN), имеющих и в голове кометы, причем молекулы углерода формируют внешнюю, выпуклую часть хвоста, а молекулы циана — внутреннюю.

Имеющиеся пока спектрограммы хвостов II типа обладают настолько невысоким качеством, что каждая из спорящих сторон одинаково успешно истолковывает содержание спектрограмм в свою пользу. Решающим аргументом в пользу того или иного взгляда была бы достаточно полноценная спектрограмма хвоста II типа, на которой с уверенностью можно было бы рассмотреть либо отдельные следы газовых излучений (C_2 и CN), либо отраженный солнечный спектр с темными линиями поглощения. Пока же вопрос о природе хвостов II типа окончательно решенным считаться не может.

10. РАСПАД КОМЕТ И ИХ ПРОИСХОЖДЕНИЕ

Распад комет происходит различными путями. Прежде всего с каждым прохождением вблизи Солнца комета теряет некоторую часть находящихся в ее ядре газов. Так как запасы этих газов ограничены, то в жизни каждой кометы неизбежно наступит период, когда она, сближаясь с Солнцем, уже не сможет выделить газы, образовать голову и раскинуть исполинский газовый хвост.

Отсутствие головы у кометы — явный признак ее старости. Такой старой, растерявшей газы кометой, как мы уже отмечали, была яркая комета 1901 I. Можно подсчитать, за какой примерно срок данная комета должна полностью израсходовать находящиеся в ее ядре газы. Такие подсчеты были произведены С. В. Орловым для кометы Галлея. Вычисления показали, что эта комета растеряет свои газовые запасы после 330 оборотов около Солнца. Разумеется, полученное число грубо приближенно, но в порядке этой величины вряд ли можно сомневаться. Две-три сотни оборотов — вот тот срок, за который комета должна потерять голову и лишиться газовых хвостов.

С другой стороны, исследованиями С. К. Всехсвятского доказано, что с каждым новым возвращением к Солнцу абсолютный блеск комет уменьшается. Так как основное излучение комет порождается их газовыми головами, то указанный факт также свидетельствует о сравнительно быстром исчерпании газовых запасов комет. Согласно С. К. Всехсвятскому, блеск некоторых ныне слабых комет 100—150 лет назад был настолько велик, что эти кометы не могли бы ускользнуть от внимания наблюдателей. Между тем их все-таки не наблюдали, а отсюда можно сделать вывод, что такие кометы тогда и не существовали, а зародились (или приобрели современные орбиты) совсем недавно — 100, а может быть, и меньше лет назад.

Все же комета, полностью растерявшая свои газы, еще способна (как показывает пример кометы 1901 I) образовывать пылевые хвосты и, следовательно, сохранять право именоваться кометой. Окончательный распад кометы, приводящий ее к уничтожению, происходит не за счет потерь газов, а за счет другого процесса — механического распада кометного ядра.

Распад кометных ядер — это прежде всего наблюдаемый факт. Общеизвестна история кометы Биэлы. В 1846 г. эта комета разделилась на две, каждая из которых обладала головой и хвостом. При следующем появлении в 1852 г. обе кометы разошлись на расстояние в 2 млн. км и с тех пор больше никем не наблюдались. В 1872 г.,



Рис. 22. Распад кометы Брукса (1889 V).

когда комета Биэлы должна была весьма близко пройти от Земли, вместо кометы наблюдался обильный дождь «падающих звезд». Сотни метеоров, пересекавших небо, свидетельствовали о распаде ядра кометы Биэлы на рой мелких телец, растянувшихся вдоль ее орбиты и образовавших метеорный поток.

Распад кометных ядер наблюдался неоднократно. В феврале 1860 г. комета 1860 I распалась на две. Ядро кометы 1889 V за два месяца до прохождения через перигелий распалось на пять частей, три из которых имели

газовые оболочки и хвосты. На глазах наблюдателей на несколько частей распалось ядро кометы 1882 II при ее прохождении через перигелий.

Причина подобных делений кометных ядер заключается, повидимому, в их столкновении с метеоритами. В 1937 г. Бослер и Рур доказали, что в момент деления своего ядра в 1846 г. комета Биэлы влетела в один из метеорных потоков *), включающий в себя, как и все потоки, кроме множества мелких метеорных тел, также и некоторое количество более крупных. Столкновение ядра кометы Биэлы с одним или несколькими из этих метеорных тел, вероятно, и привело к ее распаду.

Не всегда столкновения ядра кометы со встречным метеорным телом приводят к разделению ядра. Если метеорное тело невелико (а как раз с такими телами встречи комет наиболее часты), его удар о ядро кометы может лишь стряхнуть с ядра часть покрывающей ядро твердой пыли.

Во всяком случае несомненно, что дробление кометных ядер, выделение с их поверхности твердых частиц и постепенное превращение кометы в метеорный поток происходят на протяжении всей ее жизни.

Образование метеорных потоков за счет распада ядер комет было подробно рассмотрено и обосновано Ф. А. Бредихиным. По его теории, аномальные хвосты комет состоят из сравнительно крупных твердых частиц (с поперечником, по современным данным, большим 0,01 мм), на которые непрерывно распадается кометное ядро. Аномальный хвост может быть видим лишь тогда, когда количество частиц в нем достаточно велико. Невидимые же аномальные хвосты существуют, повидимому, у многих (если не у всех) комет.

Бредихин показал, что частицы, на которые распадается кометное ядро и из которых затем формируются метеорные потоки, вовсе не обязательно должны двигаться по орбите распадающейся кометы. Твердая частица сравнительно крупных размеров, на которую отталкивательные силы со стороны Солнца практически не действуют, покинув ядро кометы, сохраняет его скорость относительно Солнца. Кроме того, она обладает и собственной скоростью по отношению к ядру кометы (скоростью вылета). Дальнейшая судьба частицы будет

*) В метеорный поток Леонид.

зависеть от того, какова ее результирующая скорость по отношению к Солнцу, получающаяся геометрическим сложением указанных скоростей. В некоторых случаях она может быть настолько большой, что частица улетит по гиперболической орбите за пределы солнечной системы. В других случаях частица начнет двигаться вокруг Солнца по эллиптической орбите. Именно из таких частиц, по идее Бредихина, и формируются метеорные потоки.

В 1950 г. А. Д. Дубяго подробно рассмотрел процесс образования метеорных потоков при распаде кометных

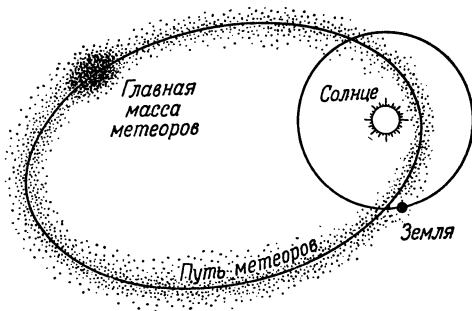


Рис. 23. Орбита метеорного потока.

ядер. Облако метеорных частиц, по тем или иным причинам покидающих кометное ядро, будет постепенно растягиваться, расширяться как под действием приливных сил Солнца, так и под влиянием светового давления на наиболее мелкие из частиц.

По подсчетам Дубяго, метеорный поток равномерно распределится вдоль орбиты породившей его кометы за несколько тысяч лет.

Так или иначе, но судьба комет ясна. Рано или поздно они исчерпают свои запасы газов, и их ядра распадутся на множество мелких осколков, основная масса которых растянется вдоль кометной орбиты. Сначала такой бубликообразный рой будет неоднородным — в области роя, где когда-то находилось ядро кометы, частиц будет больше, и рой будет гуще. Но постепенно из-за действия приливных сил, возникающих благодаря притяжению Солнца и других причин, этот сгусток рассосется, метеор-

ный поток станет более или менее однородным, а его дальнейшая эволюция выразится в постепенной потере (за счет падений на планеты, рассеяния в пространстве и т. п.) составляющих рой частиц.

• Вывод о том, что кометы являются родоначальницами метеорных потоков, подтверждается фактами. Исследованиями орбит комет, с одной стороны, и известных метеорных потоков — с другой, доказано, что ряд комет, несомненно, связан с метеорными потоками. Так, например, ежегодное усиленное «падение звезд» в августе (метеорный поток Персеид) вызывается частицами ядра кометы 1862 III. Знаменитая комета Галлея породила два метеорных потока — Орионид и майских Акварид. Подобных примеров известно около десятка. •

К сказанному можно добавить, что в сущности кометы — это небесные тела, процесс распада которых наблюдается постоянно, ибо образование головы, хвостов и других кометных форм при приближении кометы к Солнцу есть свидетельство ее непрерывного разрушения. Никакого же противоположного, созидательного процесса в кометах не обнаружено. Ясно, что процесс разрушения комет должен был когда-то начаться. С чего же он начался и как возникли кометы?

Вопрос о происхождении комет принадлежит к числу весьма трудных и пока нерешенных проблем современной астрономии.

В начале XIX в. известный французский ученый Пьер Лаплас выдвинул так называемую гипотезу захвата. По этой гипотезе кометы зарождаются где-то вне солнечной системы, и некоторые из них, двигаясь в межзвездном пространстве, могут быть захвачены притяжением Солнца, а их гиперболические орбиты превращаются при этом в эллиптические.

С точки зрения современной астрономии гипотеза Лапласа несостоятельна, так как она противоречит фактам. Первичные орбиты всех комет — эллипсы, а потому источник происхождения комет следует искать не вне, а внутри солнечной системы.

Одновременно с Лапласом Лагранж выдвинул другую гипотезу, развитую и широко популяризированную в наши дни проф. С. К. Всехсвятским. По мнению С. К. Всехсвятского, кометы — это твердые глыбы, выбрасываемые в межпланетное пространство при мощных

извержениях на поверхностях больших планет (Юпитера, Сатурна и др.), а может быть, и их спутников.

Эта гипотеза, неоднократно вызывавшая многочисленные возражения, в конце 1951 г. подверглась на специальном совещании в Киеве подробному обсуждению и критике, в результате которых несостоятельность гипотезы С. К. Всехсвятского стала общепризнанной. Главный ее недостаток — в произвольности предположения о вулканических процессах на больших планетах и их спутниках, а также в игнорировании ее автором современных данных о физической природе кометных ядер и их орбитах.

Некоторые из комет, несомненно, являются продуктами деления комет-родоначальниц. Исследованиями, проведенными в Москве под руководством С. В. Орлова, выяснено, что существуют целые семейства комет, имеющих общую точку пересечения орбит. Когда-то именно в этой точке ядро кометы-родоначальницы распалось на части, превратившиеся затем в самостоятельные кометы. Такое, например, семейство образуют кометы 1680 I, 1843 I, 1880 I, 1882 II, 1887 I. Рождение новых комет при делениях комет-родоначальниц подтверждается также фактами, указанными выше.

Существующее «размножение» комет путем деления еще не объясняет их происхождения, так как остается неясным вопрос о возникновении самих комет-родоначальниц. В настоящее время несомненно, что происхождение комет связано с происхождением и эволюцией всей солнечной системы.

Известно, что в солнечную систему, кроме больших планет типа Земли, входят многочисленные малые тела, в некоторых отношениях сходные с кометами. К ним прежде всего относятся малые планеты, или астероиды, основная масса которых обращается вокруг Солнца между орбитами Марса и Юпитера. Наибольший из астероидов, Церера, по своим размерам (поперечник 786 км) и физическим свойствам вполне схож с крупными спутниками больших планет, наименьший же из известных — Гермес (поперечник около 1 км) — имеет неправильную, осколочную форму и по существу ничем не отличается от гигантских метеоритов типа Тунгусского или Аризонского.

В настоящее время несомненно, что астероиды и метеориты — это тела одной природы. От крупнейшего

из астероидов и до мельчайшего метеорного тела весом в доли грамма, способного при встрече с Землей вызвать явление «падающей звезды», существует непрерывный переход.

К этому весьма многочисленному классу малых тел солнечной системы принадлежат и кометы. По массе кометы занимают промежуточное место между крупными астероидами и метеоритами. Орбиты некоторых из комет (например, кометы Отерма 1943 г.) имеют почти круговую форму и лежат в области астероидных орбит. С другой стороны, орбиты некоторых астероидов (например, Гидальго) обладают сильной вытянутостью и большим наклоном к плоскости земной орбиты, что, как известно, характерно для большинства кометных орбит.

Известны тела, в отношении которых трудно решить вопрос — кометы это или астероиды. Так, например, в 1892 г. Холмсом была открыта странная комета (1892 III), имевшая форму правильного планетоподобного диска с небольшим и очень слабым хвостом. Орбита кометы оказалась весьма сходной с астероидными. Наблюдателями отмечено появление нескольких пылевых галосов огромных размеров (диаметром втрое больше Солнца), вызванных, повидимому, ударами метеоритов о ядро этой удивительной кометы. Подобные странные объекты неопределенной природы наблюдались неоднократно.

Еще недавно была широко распространена гипотеза о том, что метеориты, астероиды и кометы произошли в результате распада планеты, когда-то обращавшейся вокруг Солнца между орбитами Марса и Юпитера. Однако, эта гипотеза несовместима с новейшими представлениями о «ледяной» природе кометных ядер.

Кометы, повидимому, образуют весьма многочисленный и своеобразный класс небесных тел. По недавним исследованиям голландского астронома Оорта, планетную систему окружает исполинское облако комет, границы которого находятся на расстоянии приблизительно в 200 000 а. е. от Солнца, где возмущающие действия ближайших звезд уже могут вырвать комету из солнечной системы.

Подавляющее большинство комет вследствие больших перигелийных расстояний орбит движется далеко от

Солнца и Земли, а потому недоступно для наблюдений. Эти «сверхдолгопериодические» кометы все время находятся в «замороженном» состоянии, газов практически не расходуют, а потому могут существовать миллиарды лет.

Однако под действием возмущений со стороны ближайших звезд некоторые из далеких комет могут приобрести орбиты с малым перигелийным расстоянием, пересекающие планетную систему. Постепенное сокращение этих орбит из-за возмущающего действия планет и частые сближения с Солнцем приведут к быстрой потере газов и в конце концов к полному распаду таких комет. Но на смену исчезающим кометам из кометного облака приходят все новые и новые кометы. Повидимому, именно этим путем непрерывно пополняются быстро распадающиеся короткопериодические кометы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные знания о кометах рисуют перед нашими глазами следующую картину.

Планетную систему со всех сторон окружает исполинский рой «ледяных» глыб с твердыми включениями. Общее число глыб весьма велико, а поперечник «кометного облака» почти в 2000 раз превышает диаметр планетной системы. За пределами «облака» преобладает тяготение соседних звезд, а внутри его движение глыб определяется притяжением Солнца и планет.

Далеко не все из этих глыб можно назвать кометными ядрами. Большинство их обращается вокруг Солнца по огромным орбитам с колоссальными перигелийными расстояниями, а потому, находясь постоянно в «замороженном» состоянии, они остаются лишенными характерных признаков комет — головы и хвостов.

Лишь те из глыб, которые вследствие возмущающего действия звезд приобретут орбиты с малым перигелийным расстоянием, становятся кометами в полном смысле этого слова.

Сближение с Солнцем «оживляет» замерзшее кометное ядро. Его поверхностный слой испаряется, образуя голову и газовый хвост новой кометы. Испаряющиеся газовые молекулы, покидающие ядро с тепловыми скоростями порядка сотен метров в секунду, увлекают

за собой некоторые из твердых частиц кометного ядра. Так формируются пылевые хвосты и метеорные потоки.

Газовые молекулы, покинувшие кометное ядро под действием излучения Солнца, очень быстро распадаются на менее сложные молекулы, часть которых дает свечение в видимой части спектра.

Солнечные лучи, превратившие «ледяную» глыбу в исполинскую комету, становятся вместе с тем и причиной ее постепенного распада. С каждым приближением к Солнцу масса кометного ядра уменьшается за счет безвозвратно покидающих его газов. Под действием притяжения планет орбита кометы, как правило, сокращается, что лишь ускоряет этот процесс. Сближения с Солнцем учащаются, и комета приближается к опасным для нее районам солнечной системы, где столкновения с метеорными телами могут приблизить ее конец. Распад кометного ядра, дополняющий рассеяние его ледяной части, и постепенное превращение в метеорный поток — таков удел большинства комет. Другой, правда, очень маловероятный вариант «смерти» кометы — ее столкновение с Солнцем или планетами.

Таким образом, кометы — это непрерывно и сравнительно быстро распадающиеся небесные тела. Однако запасы потенциальных кометных ядер в «кометном облаке» очень велики, и на смену исчезнувшим кометам с отдаленных окраин солнечной системы возмущающее притяжение звезд приводит новые кометы. Нет никаких оснований считать, что этот источник скоро иссякнет и, вероятно, кометы останутся неизменными сочленами солнечной системы еще много миллиардов лет.

Каково происхождение «кометного облака»?

Об этом мы можем строить лишь более или менее вероятные догадки. Повидимому, «кометное облако» образовалось в процессе эволюции газово-пылевого роя, из которого, по теории О. Ю. Шмидта, возникла планетная система.

Возможно, что процессы конденсации роя в отдельные сгущения происходили и на периферии солнечной системы. В этих областях постоянного мрака и крайне низких температур твердые частицы обволакивались затвердевавшими затем газами, а последующее объединение многих таких частиц приводило к возникновению

«потенциальных» кометных ядер. Может быть, именно таким путем и возникают кометы.

Происхождение комет является лишь одной из наиболее актуальных проблем современной кометной астрономии.

Другая, связанная с этим и не менее важная проблема — подробное изучение физической природы комет.

Остается неизвестным точный химический состав комет, в частности «родительских» молекул. Не выяснены окончательно природа галосов, механизм образования оболочек в головах комет, состав хвостов II типа.

Световое давление, удовлетворительно объясняющее наблюдаемые отталкивательные ускорения в хвостах II и II⁰ типов, оказывается недостаточным для сообщения молекулам тех колоссальных ускорений, которые обнаружены в газовых хвостах I и в особенности I⁰ типов. К тому же сама природа этих удивительных лучевых систем и их связь с головой комет не вполне ясны. Нет сомнений, что в образовании кометных форм некоторая роль принадлежит электрическим силам.

Создание количественной теории электрических явлений в кометах — одна из задач, ожидающих своего решения.

Нельзя считать вполне решенным вопрос о природе и структуре кометных ядер, о механизме образования синхрон. Требуют исследования проблемы связи комет и метеорных потоков, комет и метеоритов, комет и планет.

Теоретические исследования комет должны основываться на непрерывно улучшающейся технике их наблюдений. Получение высококачественных фотографий и спектрограмм комет, исследование их излучения в невидимой части спектра, в частности в области радиоволн, точная фотоэлектрическая фотометрия комет — таковы важнейшие экспериментальные задачи.

Вот далеко не полный перечень ближайших проблем современной кометной астрономии.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Явления, наблюдаемые в кометах	4
2. Из истории изучения комет	6
3. Современные методы исследования комет	14
4. Орбиты комет	22
5. Блеск комет и его изменения	27
6. Природа кометных ядер	31
7. Состав комет и их свечение	36
8. Голова кометы	41
9. Хвосты комет и их классификация	50
10. Распад комет и их происхождение	61
Закключение	68

Зигель Феликс Юрьевич.
Кометы.

Редактор *Л. В. Самсоенко.*

Техн. редактор *С. Н. Ахламов.*
Корректор *О. А. Сигил.*

✱

Сдано в набор 25/VIII 1955 г. Подпи-
сано к печати 4/X 1955 г. Бумага
84 × 108/32. Физ. печ. л. 2,25. Условн.
печ. л. 3,69. Уч.-изд. л. 3,52. Тираж
75 000 экз. Т-08404. Цена книги
1 руб. 05 коп. Заказ № 626.

✱

Государственное издательство
технико-теоретической литературы
Москва, В-71, Б. Калужская, 15.

✱

Министерство культуры СССР.
Главное управление полиграфической про-
мышленности. 4-я тип. им. Евг. Соколовой.
Ленинград, Измайловский пр., 29.

Цена 1 р. 05 к.